INGENIEUR HEINZ RICHTER

Hilfsbuch für Katodenstrahl-Oszillografie

3. Auflage

FRANZIS-VERLAG MÜNCHEN

INGENIEUR HEINZ RICHTER

HILFSBUCH FÜR KATODENSTRAHL-OSZILLOGRAFIE

3. AUFLAGE

Der Katodenstrahl-Oszillograf beschränkt sich in seiner Anwendung nicht auf die Radio- und Fernsehtechnik, obgleich er gerade hier zu einem nicht mehr fortzudenkenden Hilfsmittel geworden ist, sondern er spielt in allen Bereichen der Technik eine große Rolle. Die Kenntnis seiner Funktion und Anwendung wird deshalb von allen Ingenieuren, Elektronikern und Technikern verlangt, gleichgültig, auf welchem Spezialgebiet sie tätig sind.

Das vorliegende Hilfsbuch will dem Techniker ohne allen historischen und theoretischen Ballast das Wissen zum praktischen Arbeiten mit Oszillografen vermitteln. Es ist gewissermaßen die stark ausgeweitete und zur Allgemeingültigkeit erhobene Gebrauchsanleitung für moderne Katodenstrahl-Oszillografen, die mit den Schaltungen der Oszillografen selbst, mit den mannigfachen Hilfsschaltungen, mit den wichtigsten Geräten, den Oszillografenröhren und ihren technischen Eigenschaften vertraut macht und die in einem „Atlas der Oszillogramme", mit entsprechenden Erläuterungen versehen, die immer wiederkehrenden Schirmbilder und ihre Entstehung erläutert.

Das Buch, dessen erste Auflagen wohl in allen Laboratorien und bei vielen Technikern zu finden sind, wurde auf den jüngsten technischen Stand gebracht. Es entspricht damit den Wünschen der Radio- und Fernsehtechniker und der Ingenieure anderer Fachgebiete, wie das Erscheinen der 3. Auflage beweist.

Umschlagaufnahme: Philips

Hilfsbuch

für

Katodenstrahl-Oszillografie

Von

Ingenieur **Heinz Richter**

Mit 297 Bildern, darunter 111 Oszillogramm-Aufnahmen, und 19 Tabellen

3., erweiterte und verbesserte Auflage

FRANZIS-VERLAG MÜNCHEN

Verlag der G. Franz'schen Buchdruckerei G. Emil Mayer

1958

Sämtliche Rechte, besonders das Übersetzungsrecht, an Text und Bildern vorbehalten
Fotomechanische Vervielfältigung nur mit Genehmigung des Verlages
Jeder Nachdruck — auch auszugsweise — und jegliche Wiedergabe der Bilder
sind verboten

Druck der G. Franz'schen Buchdruckerei G. Emil Mayer, München 2, Karlstraße 35.

Vorwort zur 3. Auflage

Als im Jahre 1869 der Physiker Hittorf beim Studium von Entladungserscheinungen die Katodenstrahlen entdeckte, ahnte er nicht, daß diese sonderbare Strahlung in späteren Jahren große praktische Bedeutung erlangen würde. Im umfangreichen Gebiet der Elektronik und Elektrotechnik spielen heute langsame und schnelle Elektronen im Vakuum, also Katodenstrahlen, eine große Rolle, und sie dienen nicht nur friedlichen Zwecken, sondern — leider — auch der Kriegführung.

Der Katodenstrahloszillograf stellt eines der vielen Geräte dar, die ihre Existenz den Katodenstrahlen verdanken. Er ist heute ein kaum noch zu entbehrender Helfer in der technischen Praxis nicht nur des Rundfunktechnikers, sondern des Technikers, Physikers, Naturwissenschaftlers schlechthin.

Es gibt verschiedene Buchveröffentlichungen, die sich mit dem Katodenstrahloszillografen befassen. Die meisten wenden sich jedoch an den Wissenschaftler und machen entsprechende Voraussetzungen. Wer aber mit dem Oszillografen erstmalig in Berührung kommt, braucht zur Einführung in die wichtigsten Grundlagen ein kleines Werk, das ihm ohne großen historischen und theoretischen Ballast das Wissen zum praktischen Arbeiten auf diesem Gebiet vermittelt. Er muß sich in erster Linie auf die Wirkungsweise des Oszillografen und seine Bedienung verstehen. In diesem Zusammenhang gibt es viele Einzelheiten, deren Beachtung von Bedeutung ist. Die ersten beiden Kapitel des vorliegenden Buches sind diesen Dingen gewidmet. Der Besitzer des Oszillografen muß aber auch die Technik der Hilfsschaltungen kennen und beherrschen, die ihm die vielseitige Verwendung dieses Gerätes erst richtig erschließt. Davon ist im dritten Kapitel die Rede; dort sind die wichtigsten Anwendungsgebiete des Katodenstrahloszillografen ausführlich erläutert. Schließlich werden im vierten Kapitel die Konstruktionsrichtlinien der Industrie, sowie der Selbstbau von Oszillografen besprochen, Dinge, die den Praktiker mit an erster Stelle interessieren. Tabellen über Röhren sollen weiterhin deren Benützung erleichtern, sofern die Daten unbekannt sind. Deshalb wurden auch Tabellen älterer Oszillografenröhren mit aufgenommen. Im übrigen entsprechen die Ausführungen dem technischen Stand des Jahres 1957. Das vierte Kapitel wurde gänzlich neu geschrieben.

Am Schluß des Buches befindet sich eine Zusammenstellung wichtiger und typischer Oszillogrammaufnahmen. Den betreffenden Abbildungsnummern ist im Text jeweils ein A vorangestellt.

Das vorliegende Buch stellt keine nennenswerten Ansprüche an die Vorkenntnisse des Einzelnen und will auch kein Lehrbuch, sondern nur ein bescheidenes Hilfsmittel für die Praxis des beruflichen Alltags sein.

Güntering, Sommer 1957 Ing. Heinz Richter

Inhaltsverzeichnis

Erstes Kapitel. Aufbau und Wirkungsweise 7

I. Oszillografenröhren 8
1. Grundsätzliches 8
2. Die Daten einer Oszillografenröhre 12
3. Schaltungstechnik der Oszillografenröhre 15

II. Das Netzanschlußgerät 21
1. Wechselstrom-Netzanschlußgeräte 22
2. Oszillator-Netzgeräte 25

III. Das Zeitablenkgerät 27
1. Aufgabe und Eigenschaften der Kippspannung 27
2. Erzeugung von Kippschwingungen 30
3. Linearisierung 32
4. Kippgeräte mit Thyratronröhren 35
5. Kippgeräte mit Hochvakuumröhren 38

IV. Oszillografenverstärker 47
1. Eigenschaften und Anforderungen 47
2. Verstärkerschaltungen 49

V. Hilfsgeräte und Hilfseinrichtungen 53
1. Synchronisier-Zusatzschaltungen 53
2. Elektronenröhrenschalter 54
3. Spannungsteiler 56
4. Energiewandler 57
5. Zeitmarkengeräte 58

Zweites Kapitel. Arbeitsrichtlinien für die Oszillografenpraxis 61

I. Vorschriften für das oszillografische Arbeiten 61
1. Bestimmung der Grunddaten 61
2. Einstellung und Bedienung 63
3. Allgemeine Arbeitsrichtlinien 68

II. Auswertung der Oszillogramme 70
1. Grafisches Kopieren 70
2. Fotografisches Fixieren 71
3. Auswertung 73

III. Deutung von Leuchtschirmbildern 74

Drittes Kapitel. Anwendungsgebiete der Katodenstrahl-Oszillografie 79

I. Allgemeine elektrotechnische Anwendungen 79
1. Gleichspannungsmessungen 79
2. Wechselspannungsuntersuchungen 81
3. Frequenzmessungen 81
4. Strommessungen 83
5. Leistungsbestimmungen 84

6. Phasenmessungen 85
7. Messung von Impedanzen 86
8. Bestimmung von Kondensatorverlusten 86
9. Bestimmung von Spulenverlusten 87
10. Bestimmung von Blindkomponenten ohmscher Widerstände 87
11. Untersuchung von Leitungen 87
12. Aufnahme von Magnetisierungskurven 88
13. Durchschlags- und Überschlagsprüfungen 90
14. Sonstige Anwendungen 91

II. Anwendungen in der Hoch- und Niederfrequenztechnik 92

1. Darstellung von Frequenzkurven im Niederfrequenzgebiet 92
2. Darstellung von Frequenzkurven im Hochfrequenzgebiet 94
3. Aufnahme von Röhrenkennlinien 98
4. Untersuchung von Schwingungskreisen 101
5. Untersuchung von Siebketten, Filtern und Transformatoren 103
6. Untersuchungen an Hoch- und Zwischenfrequenzverstärkern 104
7. Untersuchungen an Niederfrequenzverstärkern und Endstufen .. 105
8. Untersuchung von Demodulatoren 106
9. Untersuchung von Oszillatoren und Sendern 108
10. Untersuchung von Schwundregelspannungen 110
11. Untersuchung und Eichung von Tongeneratoren 111
12. Untersuchung und Eichung von Meßsendern 113
13. Untersuchung von Netzgeräten und Gleichrichtern 113
14. Untersuchung von Wechselrichtern 116
15. Untersuchung von Störgeräuschen 117
16. Registrierung von Feldstärkeschwankungen 117
17. Aufnahme von Spannungsteilerkurven 119
18. Aufnahme von Drehkondensatorkurven 120
19. Untersuchung von Glimmlampen 121
20. Untersuchung von Fotozellen 122
21. Ermittlung von Streufeldern 123
22. Untersuchung von Geräten für Frequenzmodulation 124

III. Anwendungen in der Elektroakustik 127

1. Untersuchung von Mikrofonen 127
2. Untersuchung von Tonabnehmern 128
3. Untersuchung von Lautsprechern und Kopfhörern 128
4. Oszillografische Klanganalyse 129
5. Nachhalluntersuchungen 131
6. Oszillografische Darstellung der Sprache 134
7. Anwendung in der Magnettontechnik 134

IV. Anwendungen in Grenzgebieten 136

1. Fernsehtechnik und Impulstechnik 136
2. Dezimeter- und Zentimeterwellentechnik 143
3. Tonfilmtechnik 145
4. Bestimmung kurzer Zeiten 145
5. Der Oszillograf im industriellen Prüffeld 146
6. Drahtlose Navigation 147
7. Sonstige Anwendungen 148

Viertes Kapitel. Schaltungstechnik moderner Industrie- und Selbstbauoszillografen 151

I. Industrie-Schaltungstechnik 151
1. Allgemeines über Oszillografen-Typen 151
2. Allgemeine Eigenschaften moderner Oszillografenröhren 153
3. Schaltungstechnik der Ablenkgeräte 154
4. Der Meßverstärker 159
5. Helligkeitssteuerung 164
6. Stromversorgung 165
7. Tabellarische Übersicht über handelsübliche Oszillografen 167

II. Oszillografenröhren und Kippröhren 175
1. Oszillografenröhren 175
2. Kippröhren 194

III. Selbstbaugeräte 195
1. Allgemeine Richtlinien 195
2. Beschreibung eines vielseitigen Selbstbau-Oszillografen 198
3. Selbstbau-Elektronenstrahlschalter und Selbstbau-Phasenschieber für den Oszillografen 212

Literatur 227

Atlas der Oszillogramme 231
Erläuterungen zum Atlas der Oszillogramme 239

Sachregister 247

Erstes Kapitel

Aufbau und Wirkungsweise

Jeder Oszillograf hat die Aufgabe, zeitlich schnell verlaufende periodische und unperiodische Vorgänge unmittelbar grafisch darzustellen. Während die älteren Schleifenoszillografen ein beständiges Oszillogramm liefern, das auf fotografischem oder chemischem Wege fixiert wird und demnach beliebig lange aufbewahrt werden kann, zeigt der Katodenstrahloszillograf den Vorgang im allgemeinen nur während seiner Dauer. Ist er beendet, so verschwindet auch das Oszillogramm. Es ist daher eigentlich zweckmäßiger, von einem Oszilloskop zu sprechen, wie das in den englisch sprechenden Ländern seit langem üblich ist. Die Bezeichnung „Oszillograf" ist erst dann berechtigt, wenn das sichtbare vergängliche Schirmbild fotografisch festgehalten wird.

Die Seele eines jeden Katodenstrahloszillografen ist die Katodenstrahlröhre (nach ihrem Erfinder auch Braunsche Röhre genannt). Sie erzeugt einen in weiten Grenzen trägheitslosen steuerbaren Elektronenstrahl[1]), der senkrecht zu seiner Fortpflanzungsrichtung abgelenkt werden kann. Das Ende des Strahls schreibt das Oszillogramm in sichtbarem Licht. Um ein vollständiges Bild eines zeitlich veränderlichen Vorgangs zu erhalten, benötigt man zwei Ablenkkomponenten, die aufeinander senkrecht stehen. Die erste stellt den zu untersuchenden Vorgang selbst dar, die zweite bewirkt die Zeitauflösung. Diesem Zweck dient das Kippgerät. Weiterhin ist es üblich, den Stromversorgungsteil mit in den Oszillografen einzubauen. Jeder Katodenstrahloszillograf besteht daher, abgesehen von der eigentlichen Oszillografenröhre, aus dem Zeitablenkgerät oder Kippgerät und dem Netzteil. Dazu kommen bei vielen Ausführungen noch Verstärker mit möglichst breitem Frequenzband, die die zugeführte Meß- und Ablenkspannung genügend weit heraufsetzen. Außerdem finden wir Regelorgane, Schalter und Hilfsanordnungen.

Im Lauf der letzten Jahrzehnte sind nicht nur die verschiedensten Oszillografenröhren geschaffen worden, sondern es hat sich eine eigene Schaltungstechnik entwickelt. In den nachstehenden Abschnitten soll davon — soweit das die Praxis fördert — die Rede sein.

---

[1]) Deshalb ist auch die Bezeichnung Elektronenstrahl-Oszillograf üblich.

I. Oszillografenröhren

1. Grundsätzliches

Man unterscheidet zwischen Ionenröhren und Hochvakuumröhren, ferner zwischen Ausführungen mit kalter und geheizter Katode. Kalte Katoden finden nur in Höchstspannungsoszillografen für Sonderzwecke Verwendung; sie interessieren hier nicht. Ionenröhren haben den Vorteil, bereits bei relativ niedrigen Anodenspannungen helle Bilder zu liefern. Nachteilig sind jedoch die verschiedenen Ablenkungsanomalien; sie sind so störend, daß die Ionenröhren heute zugunsten der Hochvakuumröhren vollständig in den Hintergrund getreten sind.

Der Aufbau einer Ionenröhre geht aus Bild 1 hervor. In einem Glaskolben G befindet sich ein Heizfaden H, der — wie bei den Rundfunkröhren — die Katode K erwärmt. Diese wird von einem Metallzylinder W, dem sogenannten Wehneltzylinder, umgeben. Er ist vorne bis auf eine mehr oder weniger große runde Öffnung geschlossen. Es folgt die Anode A, z. B. in Form einer runden, in der Mitte durchbohrten Blechscheibe.

Zwischen Anode und Katode liegt eine ziemlich hohe Gleichspannung U_a (500...3000 Volt), der Wehneltzylinder W ist gegen die Katode durch eine Gleichspannung $-U_g$ negativ vorgespannt. Die aus der Katode K tretenden Elektronen E werden von der positiven Anode angezogen und so stark beschleunigt, daß sie durch das Anodenloch hindurchfliegen und mit erheblicher Geschwindigkeit auf einen Leuchtschirm L prallen, der sich in Form einer dünnen Schicht auf dem Kolbenboden befindet. Die Folge ist das Auftreten eines leuchtenden Flecks (Leuchtfleck, Fluoreszenzfleck).

Die Röhre ist nicht total evakuiert, sondern enthält Edelgas (meist Argon) sehr niederen Druckes (10^{-2}...10^{-4} mm Hg). Wäre es nicht vorhanden, so würde sich nur ein diffuser Elektronenstrahl bilden, d. h. der Querschnitt des Strahls würde sich mit zunehmendem Abstand von der Katode schnell verbreitern und einen unscharfen verwaschenen Fleck auf dem Leuchtschirm erzeugen [A 1]. Solch ein Strahl ist für oszillografische Zwecke natürlich ungeeignet, da ihm jede Zeichenschärfe abgeht. Nun bewirkt jedoch die Anwesenheit des Gases das Auftreten einer starken positiven Raumladung in der Umgebung des Elektronenstrahls. Unter dem Einfluß dieser Raumladung erfolgt auf Grund gewisser, hier nicht weiter interessierender Gesetze eine weitgehende Strahlkonzentration, so daß der Strahlquerschnitt auch noch in Nähe des Leuchtschirms klein, der Leuchtfleck also scharf und genau umrissen ist [A 2]. Voraussetzung für diese Strahlkonzentration („Striktion") ist — abgesehen von Art und Druck der Gasfüllung — ein bestimmtes Verhältnis $-U_g/U_a$, d. h. man kann bei konstanter Anodenspannung U_a durch Regeln der Wehneltzylinderspannung $-U_g$ die Strahl-

konzentration genau einstellen. Deshalb führte früher der Wehneltzylinder auch den Namen Striktionszylinder.

Die Regelung der Strahlkonzentration mit Hilfe der Wehneltzylinderspannung hat den Nachteil, daß nicht nur die Konzentration, sondern gleichzeitig die Strahlintensität beeinflußt wird. Der Wehneltzylinder wirkt wie das Gitter einer Triode, d. h. bei hoher negativer Spannung läßt er wenig, bei geringer negativer Spannung viel Elektronen durch seine Öffnung treten.

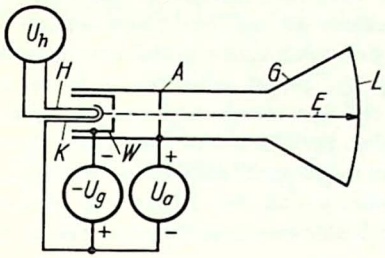


Bild 1: Anordnung der Ionenröhre

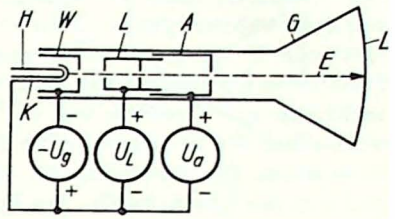


Bild 2: Anordnung der Hochvakuumröhre

Ein starker Elektronenstrahl erzeugt jedoch einen helleren Leuchtfleck als ein Strahl geringerer Intensität. Man ist daher gezwungen, bei optimaler Strahlkonzentration eine bestimmte, nicht mehr beeinflußbare Helligkeit in Kauf zu nehmen. Erstrebenswert ist jedoch eine gleichzeitig unabhängige Regelung sowohl der Strahlintensität (Helligkeit) als auch der Strahlkonzentration (Schärfe). Die Ionenröhre läßt das auf Grund ihrer Wirkungsweise leider nicht zu. Ein weiterer schwerwiegender Nachteil ist darin zu sehen, daß die Anwesenheit träger Ionen der Trägheitslosigkeit der später zu besprechenden Strahlablenkung eine verhältnismäßig frühe Grenze setzt. Das wirkt sich durch verwaschene und verzerrte Oszillogrammbilder bei Überschreiten einer gewissen Ablenkfrequenz aus. Es kommt hinzu, daß die unbedingt erforderliche Proportionalität zwischen Strahlablenkung und Ablenkfeld keineswegs vorhanden ist. Am bekanntesten dürfte die sogenannte Nullpunktanomalie sein, die sich dadurch äußert, daß der Strahl in Nähe der Ruhelage schwächer als am Rande ausgelenkt wird. Der Grund hierfür kann teils schaltungstechnischer Natur (Außenwiderstand nicht mehr klein gegenüber dem Innenwiderstand zwischen den Ablenkplatten), teils gasphysikalischer Natur sein. Erwähnt sei noch die beschränkte Lebensdauer der Katode gasgefüllter Röhren, eine Erscheinung, die mit dem Ionenbombardement zusammenhängt und z. B. auch von den gasgefüllten Gleichrichterröhren bekannt ist.

Alle diese Nachteile überwiegen bei weitem die in der einfachen Konstruktion und der guten Helligkeit bei kleinen Anodenspannungen zu sehenden Vorteile. Die fortschreitende Entwicklung der Elektronenoptik wies jedoch bald den Weg zur Strahlkonzentration ohne Zuhilfenahme träger Ionen.

Man gelangte zunächst zu Zwischenlösungen, bei denen der Strahl teils durch Elektronenlinsen, teils durch eine erheblich geringere Zahl von Ionen konzentriert wurde. Schließlich entstand der reine Hochvakuumtyp, der heute wohl ausschließlich verwendet wird.

Bild 2 zeigt den grundsätzlichen Aufbau einer Hochvakuumröhre. Der Gasdruck im Innern beträgt weniger als 10^{-6} mm Hg, ist also praktisch zu vernachlässigen. Wie bei der Ionenröhre sind auch hier Katode K, Heizfaden H und Wehneltzylinder W vorhanden. Zwischen der zylindrischen Anode A und dem Wehneltzylinder befindet sich jedoch noch eine weitere zylindrische Elektrode L, die an eine Gleichspannung U_L gelegt wird. Sie erzeugt im Strahlraum ein zusätzliches elektrisches Feld, das auf die Elektronen ähnlich wirkt wie eine Glaslinse auf das Licht. Man spricht daher von einer Elektronenlinse. Sie ist imstande, die Elektronen zu einem scharfbegrenzten Strahl zu bündeln. Die Bündelung ist dabei abhängig von der Stärke des Feldes, also von der Spannung U_L. Die Physik der Elektronenlinse braucht uns nicht weiter zu interessieren.

Durch den Fortfall der Ionen bekommen wir mit solch einer Hochvakuumröhre einen in weiten Grenzen trägheitslosen und scharfgebündelten Elektronenstrahl, dessen Ablenkung keine Anomalien zeigt. Die Auslenkung des Leuchtflecks folgt genau dem Ablenkungsfeld, Verzerrungen treten dabei praktisch nicht ein. Weiterhin lassen sich nunmehr Strahlschärfe und Strahlstärke unabhängig voneinander regeln, so daß man z. B. optimale Fleckschärfe einstellen und die Fleckhelligkeit fast beliebig verändern kann. Die Linsenspannung U_L steht bei optimaler Bündelung in einem festen Verhältnis zur Anodenspannung, und zwar ist $U_L \approx 0{,}2 \ldots 0{,}4\, U_a$. Die Lebensdauer einer Hochvakuumröhre ist wegen des fehlenden Ionenbombardements wesentlich größer als beim gasgefüllten Typ und durchaus der Lebensdauer moderner Rundfunkröhren vergleichbar. Der Elektronenstrahl ist so lange praktisch trägheitslos, wie die Elektronengeschwindigkeit gegenüber der Ablenkgeschwindigkeit zu vernachlässigen ist. Erwähnt sei noch, daß man nicht nur mit einer elektrischen, sondern auch mit einer magnetischen Elektronenlinse die gewünschte Bündelung erreichen kann. Eine solche Linse wird mit Hilfe einer gleichstromdurchflossenen Spule, die den Röhrenhals konzentrisch umfaßt, hergestellt. Auch Permanentmagnete sind anwendbar.

Wir beschäftigen uns nun mit der Ablenkung des Elektronenstrahls, auf der die Technik der Katodenstrahloszillografie beruht. Fast alle aus der Mechanik bekannten Gesetze lassen sich auch auf das freie Elektron anwenden. Wenn das in seiner Schärfe und Stärke richtig eingestellte Elektronenstrahlbündel die Anode passiert hat, wird es im Raum zwischen dieser und dem Leuchtschirm elektrischen oder magnetischen Wechselfeldern ausgesetzt, die es aus seiner geradlinigen Richtung ablenken. Die Folge davon ist, daß der Leuchtfleck, der ja die jeweilige Stellung des Elektronenstrahls

kennzeichnet, unter dem Einfluß der ablenkenden Kraft seine Lage verändert. Er folgt den Ablenkkomponenten innerhalb der oben erwähnten Grenzen praktisch trägheitslos, so daß seine Bahn ein naturgetreues Abbild der zeitlichen Form des Ablenkvorgangs ist. Vollzieht sich diese Ablenkung in schneller Folge periodisch, was bei Wechselfeldern zutrifft, so kann das Auge wegen seiner Trägheit nicht mehr die Augenblicksstellungen des Leuchtflecks unterscheiden. Es erkennt dann lediglich die Spur des Flecks in Form einer leuchtenden Linie [A 3].

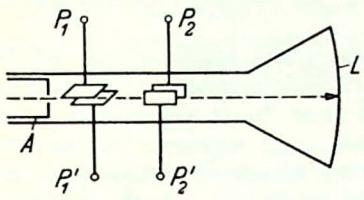


Bild 3: Anordnung der Ablenkplatten

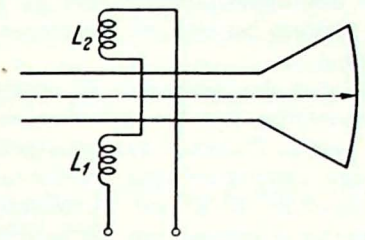


Bild 4: Anordnung für magnetische Ablenkung

Die Ablenkung des Strahls kann durch elektrische und magnetische Felder vorgenommen werden. In der Oszillografentechnik ist die elektrische (elektrostatische) Ablenkung am gebräuchlichsten. Um sie hervorzurufen, ordnet man nach Bild 3 zwei Ablenkplattenpaare P_1P_1' und P_2P_2' zwischen Anode A und Leuchtschirm L an, deren Ebenen zueinander senkrecht stehen. Der Elektronenstrahl durchläuft den Zwischenraum zwischen den beiden Platten. Befinden sich diese auf gleichem Potential, so entsteht kein elektrisches Feld, und der Elektronenstrahl bleibt unbeeinflußt. Legt man zwischen P_1 und P_1' eine Gleichspannung, so erfolgt durch das nun entstehende Feld eine Strahlablenkung nach oben oder unten, je nachdem, ob die obere oder die untere Platte positiv ist. Der Strahl wird also immer in Richtung der positiven Platte abgelenkt, weil die Elektronen, aus denen der Strahl ja besteht, stets zu positiven Elektroden hingezogen werden.

Ähnlich verhält es sich mit dem Plattenpaar P_2P_2'. Ist die hintere Platte positiv, so wird der Strahl nach hinten abgelenkt, während eine Ablenkung nach vorn erfolgt, wenn die vordere Platte positiv ist.

Legt man Wechselspannungen an die Plattenpaare, so erfolgt die Ablenkung mit deren Frequenz. Auf dem Schirm zeigt sich dann bei genügend hoher Frequenz eine leuchtende, senkrechte oder waagerechte Linie.

Die elektromagnetische Ablenkung[1a]) erfordert keine zusätzlichen Elektroden im Innern der Röhre, sondern außen angeordnete Spulen L_1 und L_2 nach Bild 4. Die Spulenachse muß dabei senkrecht zur Strahlrichtung liegen. Auch hier ist die Anordnung eines weiteren, um 90 Grad verdrehten

1a) Im sog. „Raster-Oszillografen" (s. FUNKSCHAU 1955, H. 4, 7 und 9) auch in der Oszillografentechnik von gewisser Bedeutung.

Spulenpaares möglich, so daß man nicht nur in senkrechter, sondern auch in waagerechter Richtung ablenken kann.

Nun kurz einige grundsätzliche Worte über den Leuchtschirm. Er hat die Aufgabe, die Bewegungsenergie der Elektronen in sichtbares Licht umzusetzen. Dazu sind bestimmte sogenannte fluoreszierende Stoffe in der Lage. Man verwendet z. B. Kalziumwolframat, Kadmiumwolframat, Zinksulfid und ähnliche Salze, die mit einem Bindemittel vermischt und dann auf das Innere des Röhrenkolbens fein verteilt verspritzt werden. Je feinkörniger dieser Schirm ist, um so deutlicher werden die Einzelheiten des Oszillogramms.

Die Farbe des erzeugten Fluoreszenzlichtes hängt lediglich von der Zusammensetzung des Leuchtstoffes ab. Kaliumsalze erzeugen z. B. vorzugsweise blaues, Zinksalze dagegen gelbgrünes Licht. Durch entsprechende Mischungen kann man auch annähernd weißes Licht erhalten. Der optische Wirkungsgrad, d. h. das Verhältnis zwischen erzeugter Lichtenergie und zugeführter Strahlenergie, ist sehr klein, etwa 2...5 %. Der Hauptteil der Strahlenergie wird in Wärme umgesetzt. Bei großen Anodenspannungen, also großen Strahlintensitäten, erhitzt sich daher die vom ruhenden Strahl getroffene Stelle des Leuchtschirms unter Umständen so stark, daß nicht nur der Leuchtstoff an diesem Punkt verbrennen, sondern sogar das Glas des Schirmbodens schmelzen kann. Deshalb darf man den Leuchtfleck nie auf einer Stelle mit zu großer Helligkeit stehenlassen.

Von besonderer Bedeutung ist die Dauer der Nachleuchtzeit. Es gibt Stoffe, die bereits 10^{-6} sec nach Aufhören der Elektronenbestrahlung erlöschen, und solche, die noch minutenlang nachleuchten. Im allgemeinen bevorzugt man für oszillografische Zwecke trägheitslose Schirme, da das Oszillogramm während des Betrachtens sich mitunter ändert. Ein Nachleuchten würde dann störend wirken. Es gibt jedoch auch Fälle, bei denen eine große Nachleuchtdauer erwünscht ist. Sehr lange haltbare Oszillogramme liefern „Blauschriftröhren" (s. Kap. 4).

2. Die Daten einer Oszillografenröhre

Um mit dem Katodenstrahloszillografen praktisch verwertbare Untersuchungen durchführen zu können, ist — ebenso wie bei Rundfunkröhren — eine genaue Kenntnis der Daten erforderlich.

Die Heizdaten werden für jede Katodenstrahlröhre von der Herstellerfirma genau angegeben. Die Heizspannung liegt meist zwischen 2 und 12 Volt, der Heizstrom zwischen 0,2 und 1 Ampere. Da die Katode indirekt geheizt wird, ist Wechselstromheizung zulässig. Bei manchen Ausführungen ist das eine Ende des Heizfadens mit der Katode verbunden. Der Anschluß des Minuspols der Anodenspannung an das andere Heizfadenende führt zu Störungen.

Von großem Einfluß auf die Helligkeit des Leuchtflecks ist die Größe der Anodenspannung, da diese die Geschwindigkeit der Elektronen und damit ihre kinetische Energie, die wiederum ein Maß für die Helligkeit ist, entscheidend bestimmt. Ein freifliegendes Elektron verhält sich (innerhalb gewisser Grenzen) etwa wie ein Geschoß, d. h. es besitzt eine bestimmte Bewegungsenergie $mv^2/2$, wobei m = Elektronen-Ruhemasse und v = Geschwindigkeit bedeuten. Ferner kann man einem ruhenden Körper eine bestimmte potentielle Energie zuschreiben, die bei einem Geschoß dem Produkt aus Höhe und Gewicht, bei einem Elektron dagegen dem Produkt aus Anodenspannung (Beschleunigungsspannung) U_a und der Elementarladung e entspricht. Beide Energien müssen gleichgroß sein, d. h. man kann schreiben

$$\frac{mv^2}{2} = U_a \cdot e \qquad (1)$$

Löst man die Gleichung nach v auf und setzt die für ein Elektron charakteristischen Werte e und m ein, so bekommt man

$$v = 0{,}595 \cdot 10^8 \sqrt{U_a} \text{ [cm/sec]} \qquad (2)$$

d. h. die Strahlgeschwindigkeit ist der Wurzel aus der Anodenspannung proportional. Diese Tatsache ist praktisch wichtig.

Die Linsenspannung bestimmt, wie schon erwähnt, die Strahlkonzentration. Auch dieser Wert wird von den Herstellerfirmen genau angegeben und steht in fester Beziehung zur Anodenspannung. Da der für eine optimale Konzentration richtige Wert ziemlich kritisch ist, muß die Linsenspannung mit einem Potentiometer regelbar sein.

Die Wehneltzylinderspannung bestimmt die Helligkeit des Leuchtflecks und beträgt je nach Anodenspannung 10...40 Volt. Der Zusammenhang zwischen Wehneltspannung und Strahlstrom bzw. Fleckhelligkeit heißt Lichtsteuercharakteristik. Als Beispiel ist in Bild 5 eine solche Kurve mit der Anodenspannung U_a als Parameter für die Philipsröhre DG 7—2 dargestellt. Die Kurve hat in der oszillografischen Praxis wenig Bedeutung, da man die passende Helligkeit von Hand auf den günstigsten Wert ein-

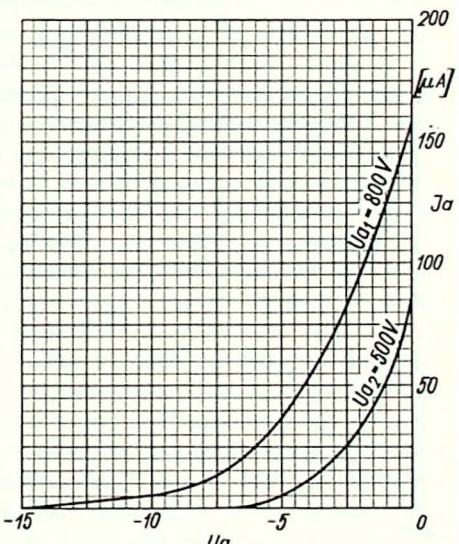


Bild 5: Lichtsteuercharakteristik einer DG 7/2

stellt. Es ist also auch für die Wehneltzylinderspannung ein fein einstellbares Potentiometer erforderlich.

Die maximale Schreibgeschwindigkeit ist weiterhin wichtig zur Beurteilung dessen, was die betreffende Röhre hinsichtlich fotografischer Fixierung der Leuchtschirmbilder leistet. Man versteht darunter diejenige maximale Ablenkgeschwindigkeit des Strahles quer zur Fortpflanzungsrichtung, die gerade noch ausreicht, um bei Verwendung eines fotografischen Objektivs bestimmter Lichtstärke L und einer bestimmten Vergrößerung V (Verhältnis zwischen Aufnahme und Bildgröße) auf einem bestimmten Negativmaterial eine noch sichtbare Schwärzung hervorzurufen.

Die Schreibgeschwindigkeit wird in km/sec angegeben und ist dem Wert $L^2/(V+1)^2$ proportional. Sie hat nur bei der Aufnahme einmaliger Vorgänge Bedeutung, weil man periodische Erscheinungen beliebig lange belichten kann.

Von großer Bedeutung ist die Ablenkempfindlichkeit. Man unterscheidet zwischen elektrischer und magnetischer Ablenkempfindlichkeit.

Unter elektrischer Ablenkempfindlichkeit versteht man denjenigen Leuchtfleckausschlag in mm, der unter dem Einfluß von 1 Volt Spannung zwischen den Ablenkplatten hervorgerufen wird. Ist also a der Gesamtausschlag in mm und U die zugehörige Ablenkspannung (bei Wechselspannung der Scheitelwert) in Volt, so ist die Ablenkempfindlichkeit

$$E = \frac{a}{U} \text{ [mm/V]} \tag{3}$$

Die Empfindlichkeit hängt von den konstruktiven Daten der Röhre und der Anodenspannung ab. Auch das wird verständlich, wenn man einen mechanischen Vergleich, nämlich einen starken Wasserstrahl, heranzieht. Dieser Strahl läßt sich um so schwerer nach der Seite ablenken, je schneller er ist; anderseits wird das Ende des Strahles infolge der Hebelwirkung um so stärker ausschlagen, je weiter der Ablenkpunkt von der Strahlspitze entfernt ist. Dasselbe gilt auch für den Elektronenstrahl. Die Empfindlichkeit berechnet sich zu

$$E = \frac{l \cdot L}{2 \cdot U_a \cdot d} \text{ [mm/V]} \tag{4}$$

wobei l = Länge der Ablenkplatten, L = Abstand von der Plattenmitte zum Schirm, U_a = Anodenspannung und d = Plattenabstand bedeuten. Im allgemeinen braucht man diese Formeln in der Praxis nicht, weil der Wert E für jede Röhre, bezogen auf eine bestimmte Anodenspannung, stets angegeben wird. Seit einiger Zeit wird anstelle der Empfindlichkeit E auch der „Ablenkfaktor" A angegeben, der dem reziproken Wert von E entspricht. Es ist also A = 1/E [V/mm], wobei für die Spannung meist Spitzenwerte [V_{ss}] eingesetzt werden, weil neben sinusförmigen Ablenkkomponenten vor allem Impulse und Sägezähne interessieren.

Für die Definition der magnetischen Ablenkempfindlichkeit gelten analoge Überlegungen. Sie gibt an, welcher Leuchtfleckausschlag (in mm) zu der-

jenigen magnetischen Feldstärke der Ablenkspule gehört, die von einer Amperewindung hervorgerufen wird, bezogen auf eine bestimmte Spulenform, Spulenlage und Anodenspannung. Beträgt der Leuchtfleckausschlag a mm und erzeugt die Spule n Amperewindungen, so ist die magnetische Empfindlichkeit

$$E_m = \frac{a}{n} \text{ [mm/AW]} \qquad (5)$$

Die Angabe der genauen Formel für E_m hat in der Praxis wenig Sinn. Man wickelt zweckmäßigerweise eine passende Spule und befestigt sie an einer Stelle des Röhrenhalses, wo eine verzerrungsfreie Ablenkung bis zum Rande bei höchster Empfindlichkeit möglich ist (durch Versuch auszuprobieren). Bei bekannter Windungszahl w und bekanntem Strom J kann nunmehr die Empfindlichkeit E_m bei gegebener Anodenspannung U_a durch eine Messung von a bestimmt werden. Der magnetische Ablenkfaktor A_m ist $A_m = 1/E_m$ [AW/mm].

3. Schaltungstechnik der Oszillografenröhre

Die Anschaltung der Oszillografenröhre an die Meßspannung und die Verbindung mit dem Netzgerät und dem Kippgerät erfordern die Beachtung verschiedener Gesichtspunkte.

Wir wenden uns zunächst der richtigen Anschaltung der Ablenkplatten zu. Hier gilt vor allem die wichtige Grundregel, daß zwischen den Ablenkplatten und der Anode praktisch keine Spannung herrschen darf. Ist das nämlich nicht der Fall, so entsteht ein zusätzliches elektrisches Feld zwischen den Platten und der Anode, was zu Verzerrungen und Unschärfen des Oszillogramms führt. Man kommt daher zu einer Schaltung nach Bild 6. Je eine Platte ist unmittelbar mit der Anode verbunden. Die anderen beiden Platten liegen über hochohmige Widerstände R an der Anode. Die zu oszillografierenden Spannungen werden an den Punkten a und b über Kondensatoren C an diese Platten angeschlossen. Da man gewöhnlich Spannungsquellen hat, die einseitig an Erde liegen, muß man zwangsläufig auch die Anode der Oszillografenröhre erden, um keine große Spannungsbelastung der Koppelkondensatoren zu erhalten. Infolgedessen führt die Katode der Oszillografenröhre gegen Erde eine hohe Spannung. Auf diese besondere Schaltungsart, die von der in der Rundfunktechnik üblichen Erdung der Katoden abweicht, muß Rücksicht genommen werden. Die Ankopplung der Meßspannungen kann auch transformatorisch nach Bild 7 vorgenommen werden. Man sieht jedoch meistens davon ab, weil die Transformatoren nur kleine Frequenzbänder naturgetreu übertragen können und zu Einschwingvorgängen neigen, so daß Oszillogrammverzerrungen zu erwarten sind.

Die in Bild 6 und 7 dargestellten Schaltungen können für Hochvakuumröhren nicht ohne Vorbehalte angewendet werden. Die mit der Anode ver-

bundenen Platten besitzen zwar dieselben Spannungen wie diese, nicht jedoch die anderen Platten, denn an ihnen liegt ja die Meßspannung. Je nach deren Polarität wird also der Katodenstrahl zusätzlich beschleunigt oder verzögert, was nach Gl. (4) einer Erniedrigung bzw. Erhöhung der Ablenkempfindlichkeit gleichkommt. Daraus folgt, daß die Ablenkempfindlichkeit in der einen Extremstellung des Strahles zu groß, in der anderen Extremstellung zu klein ist. Das führt natürlich zu erheblichen Oszillogrammverzerrrungen. Eine sinusförmige Wechselspannung wird beispiels-

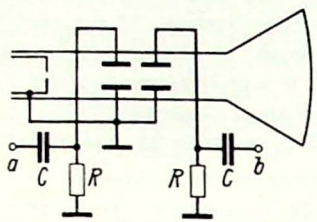


Bild 6: Kapazitive Ankopplung der Meßspannung

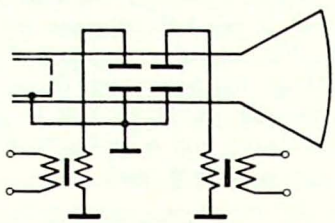


Bild 7: Transformatorische Ankopplung der Meßspannung

weise in bezug auf die Nullachsen eine Lage und Form nach Bild 8 haben. Es ist dabei angenommen, daß die Empfindlichkeit nach unten und nach links größer ist als nach oben und nach rechts. Der Kurvenzug weist daher nach unten einen größeren Maximalwert auf und erscheint an der linken Seite auseinandergezogen.

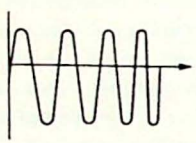


Bild 8: Zweidimensionale Verzerrung der Meßspannung durch unsymmetrischen Anschluß

Bild 9: Verformung des Leuchtstriches bei unsymmetrischer Ablenkung

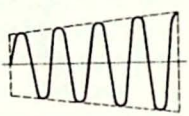


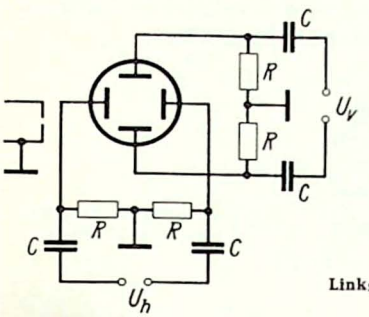
Bild 10: Trapezförmige Oszillogrammbegrenzung bei unsymmetrischer Ablenkung

Es gibt jedoch noch andere störende Erscheinungen. Da die Strahlschärfe vom Verhältnis zwischen Beschleunigungsspannung und Linsenspannung abhängt, wird der Strahl in seinen Extremstellungen wesentlich unschärfer werden als in der Mittellage, in der das Verhältnis zwischen den beiden Spannungen auf maximale Strahlschärfe eingestellt wurde. Bei großen Ausschlägen stimmt es nicht mehr, weil sich dann die Meßspannung von der Beschleunigungsspannung subtrahiert bzw. dazuaddiert. Das gibt dann Leuchtstriche nach Art von Bild 9 [A 4].

Eine weitere Verzerrung tritt auf, wenn die Einflüsse beider Ablenkplattenpaare in bestimmter Weise kombiniert auf den Strahl einwirken.

Ohne auf die elektronenoptischen Zusammenhänge näher einzugehen, sei lediglich bemerkt, daß sich die Verzerrung in Form einer trapezförmigen Begrenzung des Oszillogramms nach Bild 10 auswirkt [A 5]. Auch diese Verzeichnung stört besonders bei großen Aussteuerungen der Röhren ganz erheblich.

Da alle beschriebenen Erscheinungen letzten Endes ihre Ursache in der zusätzlichen Spannung an der einen Ablenkplatte jedes Plattenpaares haben,



Links Bild 11: Symmetrische Schaltung der Ablenkplatten

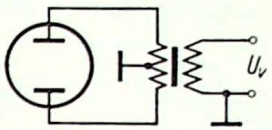


Bild 12: Einfache Symmetrierung mit Transformator

muß man dafür sorgen, daß das mittlere Potential unabhängig von der Ablenkspannung stets gleich groß bleibt. Das läßt sich erreichen, wenn man die eine Ablenkplatte in bezug auf die Anode stets um soviel negativer macht, als die andere positiv wird. Dann heben sich beide Wirkungen im Hinblick auf die Beschleunigung des Strahles auf.

Schaltungstechnisch läßt sich das durch eine gegenüber der Anode bzw. dem Schaltungsnullpunkt symmetrische Zuführung der Netzspannung zu den Ablenkplatten erreichen. Das zeigt Bild 11 [1b]). Die Platten eines jeden Plattenpaares werden über zwei gleichgroße Widerstände R verbunden, die Verbindung beider Widerstände liegt am Schaltungsnullpunkt. Die Meßspannung U_v für die vertikale bzw. U_h für die horizontale Ablenkung liegt über gleichgroße Kondensatoren C an den Ablenkplatten.

Voraussetzung für diese Schaltung ist natürlich, daß die Meßspannung selbst nicht einseitig am Schaltungsnullpunkt liegt, weil die Anordnung sonst unwirksam wird. Leider sind jedoch die meisten Meßspannungsgeneratoren unsymmetrisch gegen Erde. Man braucht nur an Empfänger und Sender zu denken, von denen die Spannungen meist gegenüber dem Schaltungsnullpunkt abgegriffen werden. Man muß sich dann entweder mit so kleinen Oszillogrammen zufrieden geben, daß die Verzerrung noch nicht störend in Erscheinung tritt, oder aber man muß die Spannung künstlich symmetrieren. Das kann in einfacher Weise durch eine Schaltung nach Bild 12 erfolgen. Man verwendet einen Transformator mit sekundärseitiger

1b) Das in Bild 11 erstmalig verwendete Symbol für die Ablenkplatten wird in Zukunft stets dann verwendet, wenn die übrigen Röhrenelektroden nicht weiter von Interesse sind.

Mittelanzapfung, die mit der (nicht mehr gezeichneten) Anode verbunden ist. An die Primärseite kann die einseitig geerdete Meßspannung U_v angeschlossen werden. Dasselbe gilt natürlich — wie auch in den folgenden Abbildungen — für das andere Ablenkplattenpaar.

Die Anschaltung einer Gegentaktstufe, die ohnehin eine gegen den Nullpunkt symmetrische Ausgangsspannung liefert, zeigt Bild 13. Die beiden Außenwiderstände R_a und die beiden Koppelkondensatoren C müssen natürlich gleich groß sein. Die Meßspannung U_v wird über einen Gegentakttransformator den Steuergittern der Verstärkerröhre zugeführt.

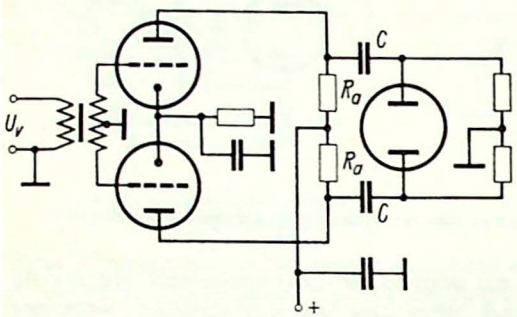


Bild 13: Gegentaktverstärker zur Symmetrierung

In den Schaltungen Bild 12 und 13 wird die Symmetrierung durch Transformatoren mit den schon weiter oben erwähnten Nachteilen erzwungen. Für stark oberwellenhaltige Meßspannungen verwendet man daher besser eine Schaltung nach Bild 14, bei der die Symmetrierung durch einen Kunst-

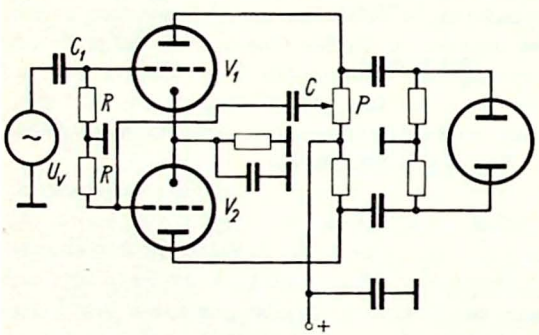


Bild 14: Gegentaktverstärker ohne Transformatoren

griff erreicht wird. Das Gitter der oberen Gegentaktröhre V_1 wird über den Kondensator C_1 an die Meßspannung U_v gelegt, so daß an dem als Potentiometer P ausgebildeten zugehörigen Außenwiderstand von V_1 eine verstärkte Wechselspannung auftritt. Sie liegt gegenphasig zur Eingangsspannung. Ein Teil dieser Ausgangsspannung wird mit dem Potentiometerschleifer abgegriffen und über den Kondensator C dem Steuergitter der

unteren Gegentaktröhre V_2 zugeführt. Demnach erhält dieses Gitter eine gegenüber dem Steuergitter von V_1 um 180° verschobene Spannung, womit die gewünschte Symmetrierung erreicht ist. An den Anodenaußenwiderständen entsteht somit ebenso wie in der Schaltung Bild 13 eine nullsymmetrische Komponente. Die Aussteuerung der Röhre V_2 kann man durch richtige Einstellung des Potentiometers P genau der Spannung am Gitter von V_1 anpassen.

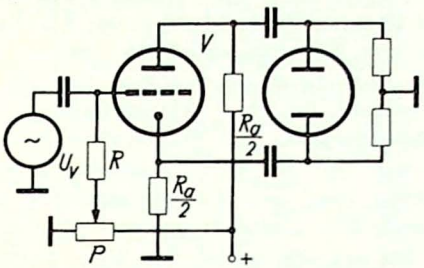


Bild 15: Symmetrierschaltung mit einer Röhre

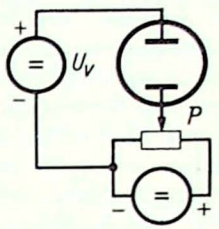


Bild 16: Kompensierung der Gleichspannung

Eine sparsamere, bei hohen Frequenzen jedoch nicht so günstige Schaltung ist in Bild 15 dargestellt. Der Außenwiderstand der Röhre V ist in zwei Hälften $R_a/2$ aufgeteilt. Auf Grund der Wirkungsweise jeder Elektronenröhre ist die Spannung im Anodenkreis gegenüber der im Katodenkreis gegenphasig, so daß man trotz unsymmetrischer Steuerung des Eingangs durch die Spannung U_V eine nullsymmetrische Ausgangsspannung erhält. Das Potentiometer P dient der Zuführung der richtigen Gittervorspannung, indem die durch $R_a/2$ zu hohe positive Katodenspannung teilweise durch eine positive Gittervorspannung kompensiert wird. Natürlich liefert die Anordnung nur eine halb so große Ausgangsspannung wie die von Bild 14; ferner ist zu beachten, daß die Blindbelastung der beiden Widerstandshälften ungleich groß ist, denn die Anoden-Erdkapazität weist andere Werte als die Kapazität zwischen Katode und Erde auf. Diese und ähnliche, nur mit Röhren und RC-Gliedern oder sogar mit galvanischer Kopplung arbeitenden Phasenumkehrschaltungen werden in der modernen Oszillografentechnik heute fast ausschließlich verwendet.

Sämtliche besprochenen Symmetrierungsmaßnahmen werden überflüssig, wenn man Oszillografenröhren verwendet, die speziell für unsymmetrische Ablenkung eingerichtet sind. Durch eine besondere, nur den Elektronenoptiker interessierende Anordnung der Ablenkplatten kann man nämlich erreichen, daß die von der Meßspannung bewirkte Strahlbeschleunigung in sinnvoller Weise unschädlich gemacht wird. Diese Maßnahmen werden jedoch gewöhnlich nur für ein Plattenpaar durchgeführt. Das andere Plattenpaar muß mit nullsymmetrischer Spannung versorgt werden. Die Hersteller-

firmen der Oszillografenröhren geben jeweils genau an, welches Plattenpaar für unsymmetrische Ablenkung eingerichtet ist. Man verwendet es gewöhnlich für die später zu besprechende Zeitablenkung, weil sich dann eine einfache Kippschaltung verwenden läßt.

Bei der Anschaltung der Meßspannung an die Ablenkplatten sind noch weitere Gesichtspunkte zu berücksichtigen. Werden Ionenröhren verwendet, so muß beachtet werden, daß der Wirkwiderstand zwischen den Ablenkplatten keineswegs unendlich ist. Selbst bei Verwendung hoher Ableitwiderstände zwischen den Platten und dem Schaltungsnullpunkt müssen daher die Koppelkondensatoren stets so groß bemessen werden, daß die volle Spannung an die Ablenkplatten gelangt. Bei Hochvakuumröhren sind die Verhältnisse wesentlich besser. Allerdings ist der Plattenwiderstand auch nicht unendlich groß, weil stets ein Teil der vom Leuchtschirm zurückfließenden Sekundärelektronen seinen Weg über die Ablenkplatten nimmt, was effektiv einem bestimmten endlichen Plattenwiderstand gleichkommt. Es gibt jedoch Röhren, die im Inneren einen auf das Glas gespritzten leitenden Überzug besitzen, der vom Leuchtschirm bis zur Anode reicht, so daß die Elektronen vom Schirm auf galvanischem Wege direkt zur Anode gelangen. Die Belastung der Ablenkplatten fällt dann praktisch fort, so daß man in den Genuß einer fast leistungslosen Steuerung des Elektronenstrahls, wie bei einer negativ vorgespannten Triode, kommt.

Bei der Bemessung der Ankopplungsschaltung müssen — wie bei jeder Elektronenröhre — die Kapazitäten zwischen den Platten bzw. zwischen den Platten und dem Schaltungsnullpunkt berücksichtigt werden. Das ist besonders für hohe Frequenzen wichtig, wo die entsprechenden Blindwiderstände mitunter recht klein werden können. Es gelten hierbei grundsätzlich die gleichen Überlegungen wie beim Widerstandsverstärker.

Sollen Gleichspannungen oder langsame Gleichspannungsänderungen registriert werden, so muß die Ankopplung der Ablenkplatten galvanisch erfolgen. Ist die Gleichspannung groß gegenüber den Gleichspannungsänderungen, so muß sie durch eine Schaltung nach Bild 16 kompensiert werden. Parallel zum Potentiometer P liegt eine Gleichspannungsquelle, die so in den Kreis eingefügt wird, daß sie die Grund-Gleichspannung des Meßobjektes mit der Spannung U_V gerade oder teilweise aufhebt. Eventuelle Symmetrierungsmaßnahmen müssen natürlich berücksichtigt werden.

Sehr oft besteht der Wunsch, das stehende Oszillogramm eines schnell verlaufenden Vorgangs auf dem Schirm zu verschieben, weil man entweder die über den Schirm hinausragenden Bildteile genauer betrachten oder dem Oszillogramm aus anderen Gründen eine abweichende Lage erteilen möchte. Man greift dann zu einer Vorspannung der Ablenkplatten nach Bild 17. Eine Gleichspannung U liegt an den beiden Potentiometern P_1 und P_2. Die elektrische Mitte der Stromquelle ist über ein Potentiometer P_3 an den Schal-

tungsnullpunkt angeschlossen. Man kann den Leuchtfleck durch Einstellen des Potentiometers P_1 in seitlicher Richtung und mit dem Potentiometer P_2 von oben nach unten verschieben. In fertigen Oszillografen sind derartige Einstellvorrichtungen gewöhnlich bereits vorgesehen. Es sei noch erwähnt, daß auch die magnetische Korrektur der Flecklage möglich ist, indem man z. B. Ablenkspulen vorsieht, die in entsprechender Lage am Röhrenhals angeordnet und mit feineinstellbarem Gleichstrom gespeist werden. Auch durch zweckmäßige Verwendung von Dauermagneten läßt sich der gewünschte Effekt erreichen. Es ist dabei jedoch zu bedenken, daß durch eine ungünstige Superposition der Teilfelder Bildverzerrungen und Strahlverbreiterungen entstehen können, so daß man bei derartigen Maßnahmen besonders sorgfältig vorgehen muß.

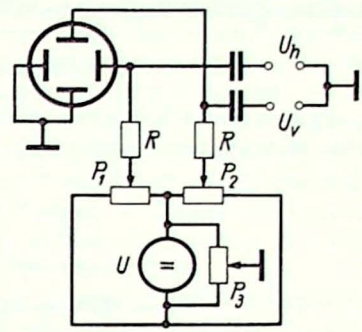


Bild 17: Schaltung zur Oszillogrammverschiebung

Sonstige schaltungstechnische Maßnahmen bei der Oszillografenröhre werden, soweit erforderlich, im Rahmen der Besprechung des Netz- und Kippgerätes behandelt. Wir bringen im vierten Kapitel Tabellen, in denen die wichtigsten Oszillografenröhren mit ihren Daten zusammengestellt sind.

Es sei noch erwähnt, daß man beim Arbeiten mit Oszillografenröhren, besonders mit größeren Exemplaren, hinsichtlich der Implosionsgefahr sehr vorsichtig sein muß. Auf jedem cm^2 des Röhrenkolbens lastet ein Gewicht von etwa 1 kg, so daß der Röhrenkolben stets unter einer Gesamtbelastung von mehreren hundert bis mehreren tausend Kilogramm steht. Es kann daher vorkommen, daß der Kolben eines Tages aus nicht ohne weiteres erkennbaren Gründen dieser Belastung nicht mehr standhält. Die dabei freiwerdenden Kräfte sind nicht unerheblich und herumfliegende Glassplitter können schweren Personen- und Sachschaden verursachen. So hat es der Verfasser z. B. bei der Implosion einer großen Fernsehröhre erlebt, daß ein Glassplitter einen 6-µF-Becherblock genau halbierte. Inzwischen ist man jedoch in der Glasbläsertechnik sehr weit gekommen, so daß derartige Vorfälle nicht nur bei den großen Fernsehröhren, sondern erst recht bei den wesentlich kleineren Oszillografenröhren praktisch ausgeschlossen sind.

II. Das Netzanschlußgerät

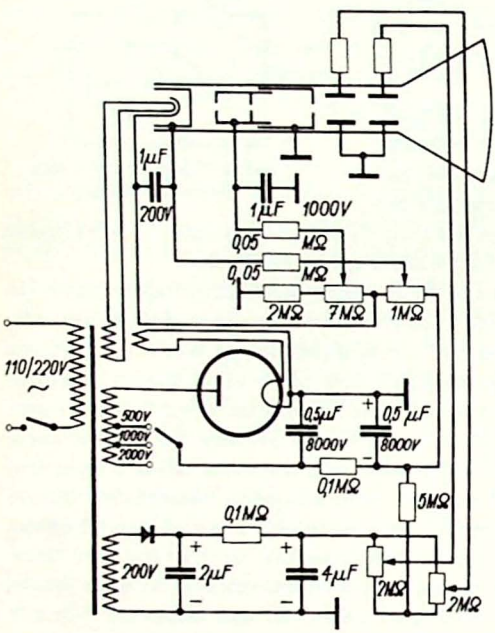
An das Netzanschlußgerät eines Katodenstrahloszillografen sind im Hinblick auf die hohe Anodenspannung besondere Anforderungen zu stellen. Es sei gleich bemerkt, daß der Betrieb aus Batterien wegen seiner Unwirt-

schaftlichkeit nicht in Betracht kommt. Auch das Gleichstromnetz kommt nur über den Weg eines Umformers (Einanker oder Aggregat) in Frage.

Im allgemeinen werden die Gleichspannungen mit normalen Netzgleichrichtern für das 50-Hz-Netz erzeugt. Darüber hinaus haben mitunter noch andere Verfahren Bedeutung, die eine besonders wirtschaftliche Erzeugung vor allem der Hochspannung erlauben. Wir werden daher auch auf solche Schaltungen zu sprechen kommen.

1. Wechselstrom-Netzanschlußgeräte

Eine einfache Schaltung ist in Bild 18 dargestellt. Die Hochspannungsseite des Netztransformators erhält zweckmäßigerweise zwei oder drei Anzap-



Links Bild 18: Schaltbeispiel für ein Netzanschlußgerät

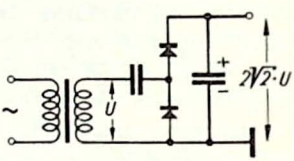


Bild 19: Spannungsverdopplerschaltung für Netzgeräte

fungen, um jeweils die gewünschte Anodenspannung einstellen zu können. Man kann dann für fotografische Aufnahmen auf hohe Spannungen, bei visuellen Beobachtungen auf kleinere Spannungen (und damit auf größere Empfindlichkeiten) schalten. Da der entnommene Strom sehr klein ist (etwa 2 mA einschließlich der Potentiometer), kann die Wicklung sehr schwach bemessen werden. Die Selbstherstellung solcher Transformatoren empfiehlt sich jedoch im allgemeinen nicht, weil Spannungen über 1 000 Volt besondere Herstellungsmaßnahmen (Tränken im Vakuum usw.) erfordern, deren

Durchführung nur mit fabrikmäßigen Einrichtungen möglich ist. Außerdem sind für den Bau von Hochspannungstransformatoren besondere Erfahrungen nötig, die nicht jeder besitzt.

Die Heizung erfolgt aus einer auf demselben Kern angebrachten Wicklung. Es ist zu beachten, daß diese Wicklung in vielen Fällen die volle Anodenspannung gegen den Kern und den oberen Teil der Hochspannungswicklung führt, weil diese Wicklung mit der Katode der Oszillografenröhre in Verbindung steht. Der Transformatorenkern liegt jedoch am Nullpunkt der Schaltung. Deshalb muß die Heizwicklung gegen alle sonstigen Teile des Transformators hochspannungs- und sprühsicher angebracht werden.

Die Beruhigungskondensatoren brauchen im Hinblick auf die geringe Stromentnahme und die hohe Spannung nur relativ kleine Kapazitätswerte aufzuweisen, müssen jedoch eine entsprechend hohe Prüfspannung besitzen. Die in die Schaltung eingetragenen Größen können als Richtwerte gelten. Wegen des kleinen Betriebsstroms genügt Widerstandssiebung (0,1 MΩ) vollständig.

Die Linsen- und Wehneltzylinderspannungen werden zwei hintereinandergeschalteten Potentiometern (7 MΩ und 1 MΩ) entnommen. Die ganze Kombination liegt parallel zur Hochspannung. Da zur Linsenelektrode ein wenn auch kleiner Strom fließt, ergibt sich bei zu großen Widerstandswerten eine störende gegenseitige Abhängigkeit der beiden Einstellungen. Man wird also einen Kompromiß zwischen noch tragbarer Belastung des Netzgerätes und noch ausreichender gegenseitiger Unabhängigkeit der Spannungen schließen müssen. Sowohl Linsen- als auch Wehneltzylinderspannung werden zweckmäßigerweise noch einmal gesiebt (je 0,05 MΩ und 1 µF).

Will man die in Bild 17 dargestellte Schaltung zur Verschiebung des Leuchtflecks in allen Richtungen durchführen, so ist ein weiterer Gleichrichterteil erforderlich. Der Transformator muß dann eine zusätzliche Wicklung (ca. 200 Volt) erhalten, deren Spannung man mit einem einfachen Trockengleichrichter (Belastung $\sim$ 1 mA) gleichrichten kann. Zur Siebung ist außer den Kondensatoren nur ein Widerstand nötig. Die so erhaltene Hilfsspannung liegt mit dem Minuspol an Masse. Die beiden Potentiometer von je 2 MΩ sind zwischen den Minuspol des Hauptgleichrichters (über einen 5-MΩ-Widerstand) und den Pluspol des Hilfsgleichrichters geschaltet, so daß die abgegriffene Potentiometerspannung negativ und positiv gegenüber dem Schaltungsnullpunkt werden kann.

Will man auf die beidseitige Verschiebung der Flecklage verzichten, so kann man den Hilfsgleichrichter fortlassen. Die oberen Enden der beiden 2-MΩ-Potentiometer werden dann an Erde gelegt. Gegebenenfalls kann man durch einen Umschalter die Polarität wenden und so den Fleck wahlweise in die eine oder andere Richtung verschieben.

Die in dieser wie auch in den folgenden Schaltungen eingetragenen elek-

trischen Werte gelten, wie schon erwähnt, nur als Richtwerte. Die genauen Größen hängen in erster Linie von der verwendeten Oszillografenröhre ab.

Steht ein Transformator mit der erforderlichen hohen Anodenspannung nicht zur Verfügung, so kann man sich mit Vorteil einer Spannungsverdoppler- oder auch Vervielfacherschaltung bedienen. Gerade für die kleinen Belastungsströme sind diese Anordnungen bestens geeignet. In Bild 19 ist eine Ausführungsform der bekannten Verdopplerschaltung gezeigt, während Bild 20 eine Vervielfacherschaltung darstellt. Bei zweckmäßiger Bemessung

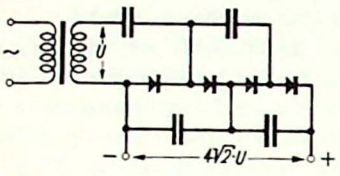


Bild 20: Spannungsvervielfacherschaltung für Netzgeräte

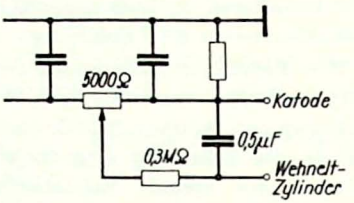


Bild 21: Entnahme der Wehnelt-Zylinderspannung vom Siebwiderstand

erreicht man eine sehr gut beruhigte und hohe Gleichspannung. Die Kondensatoren haben Werte von einigen Mikrofarad, die Gleichrichter sind übliche Ausführungsformen mit ausreichender Überschlagsfestigkeit. Die Schaltungen können in vielerlei Hinsicht abgewandelt werden und finden insbesondere in englischen Fernsehgeräten noch gelegentlich Anwendung.[2]) Sie benötigen nur einfache Transformatoren für relativ niedere Spannungen. Der Anschluß der Reglerorgane entspricht im übrigen der Schaltung nach Bild 18.

Eine einfache Anordnung[3]) für die Entnahme der Vorspannung ergibt sich, wenn man den Spannungsabfall am Siebwiderstand des Hochspannungsgleichrichters ausnützt. Das ist in Bild 21 dargestellt. Man verliert auf diese Weise keine Anodenspannung. Die vom Siebwiderstand abgegriffene Spannung muß in einem zusätzlichen RC-Glied (0,3 MΩ/0,5 µF) geglättet werden.

In vielen fertigen Oszillografen ist der Netzteil für die Oszillografenröhre mit dem Netzteil für das Kippgerät (eventuell auch für einen Verstärker) in einer einzigen Anordnung vereinigt. Wir kommen darauf noch zu sprechen.

Das Arbeiten mit Hochspannungs-Netzgleichrichtern ist in Anbetracht der in den Kondensatoren aufgespeicherten elektrischen Arbeit bei Nichtbeachtung der üblichen Vorsichtsmaßnahmen sehr gefährlich, was nicht ausdrücklich genug betont werden kann. Man schalte daher vor Eingriffen in das Gerät stets die Netzspannung ab und vergewissere sich, ob die Kondensatoren bereits genügend entladen sind. Im allgemeinen geht zwar die Aufladung wegen der parallelliegenden Potentiometer schon nach kurzer Zeit auf ungefährliche Werte zurück. Trotzdem ist größte Vorsicht am Platz.

[2]) Siehe z. B. Walker, „Television E.H.T.-Supply", Wireless World, 54 (1948), Nr. 4 und 5.
[3]) Limann, „Prüffeldmeßtechnik", Franzis-Verlag, Bild 106, S. 103.

Überhaupt muß dem Aufbau derartiger Gleichrichter hinsichtlich ausreichender Isolation große Sorgfalt zugewendet werden. Die Spannungen sind immerhin etwa zehnmal größer als die Netzspannung, und 2 000 Volt sind isolationstechnisch nicht so leicht zu beherrschen wie 220 Volt. Selbst der im Umgang mit Empfängern sehr erfahrene Radiotechniker läßt diese Tatsache meist solange außer acht, bis er sich einmal von den Auswirkungen eines Durchschlags oder Überschlags persönlich überzeugt hat. Schwache Isolierschläuche und Isolierband haben in Hochspannungsgeräten ebenso wenig zu suchen wie nicht ausreichende Transformatoren oder Kondensatoren. Dicke Gummikabel für hochspannungführende Leitungen, peinlichste Isolation hochspannungführender Teile vom metallischen Chassis und sorgfältige Erdung aller Abschirmungen und Abschirmgehäuse (Kondensatorbecher, Transformatorenkerne, Potentiometergehäuse usw.) sind allererste Voraussetzung! Abschließend sei erwähnt, daß dem Netzteil moderner Oszillografen meist noch Stabilisieranordnungen nachgeschaltet sind, die entweder mit Glimmlampenschaltungen oder geregelten Röhren arbeiten.

2. Oszillator-Netzgeräte

Unter Oszillator-Netzgeräten wollen wir Einrichtungen verstehen, in denen eine Wechselspannung höherer Frequenz eigens erzeugt, hochtransformiert und dann gleichgerichtet wird. Diese Geräte haben den Vorzug größerer Ungefährlichkeit und einfacherer Siebung. Wie schon erwähnt, haben sie in der Oszillografentechnik bis jetzt noch nicht die Bedeutung wie beim Fernsehen, führen sich aber doch langsam ein.

Die eine Möglichkeit, die jedoch für Oszillografen ausscheidet, besteht darin, die beim Rücklauf eines Kippstromes in einer Induktivität erzeugte große Spannungsspitze zur Gewinnung der Betriebsgleichspannung heranzuziehen.[4]) Obwohl es grundsätzlich denkbar wäre, das in jedem Oszillografen vorhandene Kippgerät hierfür auszunützen, scheidet dieses Verfahren aus, weil der Kippteil anders aufgebaut ist als bei Fernsehgeräten. Auch setzt diese Methode einen ständigen konstanten Betrieb des Kippgerätes voraus, was in vielen Fällen weder erforderlich, noch erwünscht ist. Wir sehen daher von weiteren Erörterungen ab.

Eine bereits frühzeitig von deutscher Seite[5]) angegebene Schaltung, die sich eines selbsterregten Hilfssenders bedient, ist in Bild 22 dargestellt. Wir

[4]) Diese Methode wurde bereits vor dem Kriege in deutschen Fernsehempfängern angewendet und findet sich neuerdings in den meisten Fernsehgeräten der ganzen Welt.

[5]) M. v. Ardenne, „Kathodenstrahlröhre", 1933, Springer, Berlin, S. 127.

sehen eine übliche Senderschaltung, deren Schwingungskreis mit einer Spule L gekoppelt ist. Die Eigenresonanz dieser Spule muß der Eigenfrequenz des Schwingungskreises entsprechen, was man ohne Zuhilfenahme von Parallelkondensatoren durch relativ große räumliche Abmessungen erreichen kann. Wir haben also einen Resonanztransformator, dessen Sekundärseite wegen des großen L/C-Verhältnisses erhebliche Wechselspannungen abgeben kann („Teslatransformator"). Diese Spannung wird nun einer Gleichrichter-

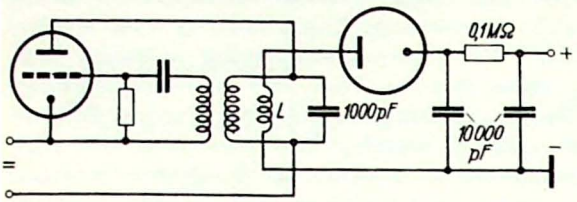


Bild 22: Prinzipschaltung eines Oszillator-Netzgerätes

röhre und anschließend einer Siebkette zugeführt. Als Betriebsfrequenzen kommen Werte von etwa 30...100 kHz in Betracht, als Schwingungserzeuger genügen schon kräftige Endröhren. Die Kapazität der Siebkondensatoren kann angesichts der hohen Frequenz sehr klein gehalten werden, wodurch die Anlage trotz der hohen Spannung infolge des geringen Arbeitsinhalts dieser Kapazitäten wesentlich ungefährlicher wird. Auch stören Wechselspannungsreste lange nicht in dem Maß wie die Netzfrequenz. Nachteilig ist der durch den zusätzlichen Oszillator bedingte schlechtere Gesamtwirkungsgrad und der größere Aufwand in Form der Oszillatorröhre, der allerdings durch die wesentlich billigere Siebkette wieder wettgemacht wird. Es gibt auch Ausführungen, bei denen die Gleichrichterröhre mit der Hochfrequenz des Oszillators geheizt wird. Zu diesem Zweck ist es nur erforderlich, die Schwingungskreisspannung in einem geeigneten Hochfrequenztransformator auf den erforderlichen Wert herabzusetzen.

Wenn man noch bedenkt, daß sich hochfrequente Störfelder wesentlich leichter als Netzfelder (insbesondere magnetischer Art) abschirmen lassen, so kommt man zu dem Ergebnis, daß die Einführung des geschilderten Prinzips in die Oszillografentechnik sehr begrüßenswert wäre. Auch der sich schnell entwickelnden Transistortechnik mag in dieser Hinsicht eine gewisse Bedeutung zukommen.

Es sei noch erwähnt, daß man auch Thyratronröhren in einfacher Weise zur Erzeugung der Hochspannung heranziehen kann. Sie werden in Kippschaltung verwendet und liefern bei richtiger Bemessung gute Ergebnisse. Indessen sollte man nach Möglichkeit die Erzeugung stark oberwellenhaltiger Spannungen in der für die Netzgeräte benötigten Größe vermeiden, weil sonst die Gefahr kapazitiver Kopplungen besteht, die mitunter schwer aufzufinden und zu beseitigen sind.

III. Das Zeitablenkgerät

1. Aufgabe und Eigenschaften der Kippspannung

Das Zeitablenk- oder Kippgerät ist ein wesentlicher Bestandteil des modernen Katodenstrahloszillografen. Erst mit seiner Hilfe ist es möglich, einen zeitlich veränderlichen Vorgang mit großer Genauigkeit auf dem Leuchtschirm wiederzugeben. Es hat die Aufgabe, eine der Zeit proportionale periodische Ablenkspannung zu erzeugen.

Bevor wir die Technik der für die Oszillografen in Betracht kommenden Kippgeräte näher besprechen, wollen wir uns die Aufgaben und Eigenschaften der Kippspannung an Hand des Zustandekommens eines Oszillogramms (Bild 23) klarmachen. Wir müssen dabei stets von der Vorstellung ausgehen, daß der Katodenstrahl unter dem Einfluß zweier Komponenten, der zu unter-

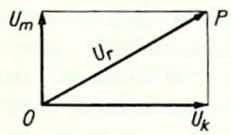


Bild 23: Ablenkung des Strahles unter dem Einfluß zweier um 90° verschobener Komponenten

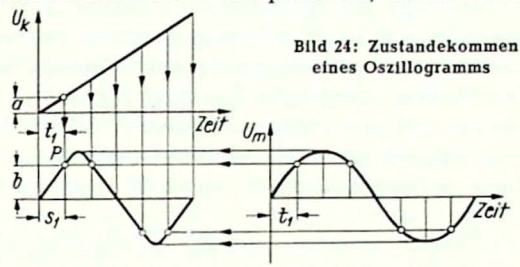


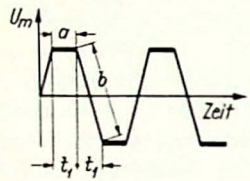
Bild 24: Zustandekommen eines Oszillogramms

suchenden Meßspannung und der Zeitablenkspannung, steht. Die Zeitablenkspannung U_k übt auf den Strahl eine Kraft in horizontaler, die Meßspannung U_m eine solche in vertikaler Richtung aus. Genau so wie ein Körper in Richtung der Resultierenden beider Kräfte eine Ablenkung erfährt, bewegt sich auch der Katodenstrahl längs der Strecke OP (Bild 23) bis zum Punkte P.

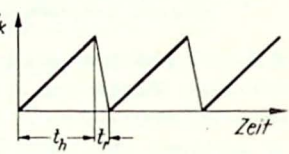
Legt man nun an die horizontalen Ablenkplatten („Zeitplatten") eine linear mit der Zeit ansteigende Spannung und an die Vertikalplatten („Meßplatten") die Spannung des zu untersuchenden Vorgangs, so beschreibt der Strahl eine Kurve, die genau dem zeitlichen Verlauf des betreffenden Vorgangs entspricht. Das ist in Bild 24 näher erläutert. Im oberen linken Bild ist der Verlauf der zeitlinearen horizontalen Ablenkspannung gezeichnet, die für eine zeitproportionale Strahlablenkung von links nach rechts sorgt. Im darunter befindlichen Bild ist das Oszillogramm dargestellt. Hat die Zeit-Ablenkungsspannung U_k z. B. den Wert a erreicht, was zur Zeit t_1 der Fall sein möge, so wird der Katodenstrahl um den Wert s_1 abgelenkt. In derselben Zeit t_1 ist jedoch die im rechten unteren Bild dargestellte (z. B. sinusförmige) Meßspannung U_m von Null bis zum Betrag b angestiegen. Infolgedessen hat der Strahl gleichzeitig eine Vertikalablenkung erfahren,

die der Strecke b entspricht. Demnach ergibt sich ein Kräfteparallelogramm nach Bild 23, so daß der Strahl eine resultierende, durch den Punkt P gegebene Lage einnimmt. Mit dem Fortschreiten der Zeit bilden sich unzählig viele weitere resultierende Punkte, die zusammen einen Kurvenzug darstellen, der genau dem zeitlichen Verlauf der Meßspannung entspricht. Der Strahl schreibt also den Vorgang naturgetreu auf den Leuchtschirm [A 6].

Mit einer einmaligen Niederschrift ist natürlich nur dann gedient, wenn man den wandernden Leuchtfleck gleichzeitig fotografisch fixiert. Hat die Meßwechselspannung z. B. eine Frequenz von 100 Hz, so würde der ganze Vorgang nach $^1/_{100}$ sec beendet sein. Das Auge würde ihn daher überhaupt nicht wahrnehmen. Nun wiederholen sich die meisten Vorgänge zeitlich periodisch, und zwar beliebig oft. Wenn man also dafür sorgt, daß die Zeitablenkspannung ebenfalls periodisch ansteigt und abfällt, und zwar mit der gleichen Frequenz und Phase wie die Meßspannung, so wiederholt sich der Vorgang auf dem Leuchtschirm beliebig oft, d. h. der Strahl durchläuft stets die gleiche Kurve. Die einzelnen kurzen Lichteindrücke summieren sich also für das Auge, und man erhält ein stehendes, leuchtendes Oszillogramm des betreffenden Vorgangs. Das Bild scheint so lange vollkommen ruhig zu stehen, wie die Vorgangsfrequenz oberhalb der Augenträgheit liegt. Dann folgt nämlich der Wechsel der Einzelbilder so schnell aufeinander, daß dem Auge ein kontinuierlicher, ruhender Vorgang vorgetäuscht wird.



Links Bild 25: Zur Erläuterung der unterschiedlichen Bildhelligkeit



Rechts Bild 26: Zeitlicher Verlauf der Kippspannung

Die angestellten grundsätzlichen Überlegungen gelten für Meßspannungen mit zeitlich beliebigem Verlauf; der sich abspielende Vorgang ist stets der gleiche. Wichtig ist, daß die einzelnen Teile des Oszillogramms verschiedene Helligkeiten besitzen können. Auch das erklärt sich in einfacher Weise. So wird z. B. ein Oszillogramm nach Bild 25 in den waagerechten Kurventeilen heller erscheinen als in den schrägen, denn die gesamte Strahlintensität verteilt sich im ersten Fall auf die relativ kurze Strecke a, im zweiten Fall dagegen auf die längere Strecke b. Die Strahldichte und damit die Helligkeit, bezogen auf die Längeneinheit, sind also in der Strecke a erheblich größer als in der Strecke b. Wir können demnach den für die Praxis wichtigen Schluß ziehen, daß die dunkelsten Stellen im Oszillogramm zu den größten Strahlgeschwindigkeiten gehören, denn die Strecken a und b in Bild 25 werden in der gleichen Zeit t_1 vom Strahl zurückgelegt. Zu der größeren Strecke b gehört demnach auch die größere Strahlgeschwindigkeit [A 7].

Aus den vorstehenden Ausführungen ergeben sich nun ohne weiteres die an ein Kippgerät zu stellenden Anforderungen. Es muß eine periodisch wiederkehrende, zeitproportionale Spannung ausreichender Größe (oder auch einen gleichartigen Strom) nach Bild 26 erzeugen; die Frequenz muß stetig regelbar sein, um alle Oszillogrammgeschwindigkeiten zu erfassen. Ferner muß es möglich sein, die Frequenz genau der Frequenz des darzustellenden Vorgangs anzugleichen und eine starre Phasenlage zwischen beiden Spannungen zu erzwingen. Die zuletzt genannte Forderung wird durch die „Synchronisierung" erfüllt, auf deren schaltungstechnische Durchführung wir noch näher zu sprechen kommen. Besteht zwischen beiden Spannungen kein Synchronismus, so „wandert" das Oszillogramm mit einer der Differenzfrequenz der beiden Spannungen entsprechenden Geschwindigkeit über den Leuchtschirm hinweg, so daß eine genaue Beobachtung nicht möglich ist. Deshalb muß die Synchronisierung sehr genau erfolgen.

Abgesehen von ausreichender Spannungsamplitude, Spannungskonstanz, Frequenzkonstanz, Regelbarkeit der Frequenz und Synchronisierbarkeit muß von einer brauchbaren Kippspannung verlangt werden, daß das Verhältnis t_h/t_r (siehe Bild 26) möglichst groß ist. Der Wert t_h stellt die sog. Hinlaufzeit dar, d. h. diejenige Zeit, in der das eigentliche Oszillogramm geschrieben wird. Innerhalb der Zeit t_r dagegen (Rücklaufzeit) springt die Kippspannung wieder auf ihren Ausgangswert zurück. Diese Zeitspanne muß so kurz wie möglich sein, damit nicht wesentliche Oszillogrammteile verschluckt werden. Außerdem soll der Strahl während des Zurückfallens nur eine möglichst wenig sichtbare Spur hinterlassen [A 8]. Das setzt eine große Strahlgeschwindigkeit, also letzten Endes eine kleine Rücklaufzeit, voraus. Durch schaltungstechnische Maßnahmen läßt sich ein günstiges Verhältnis t_h/t_r erreichen.

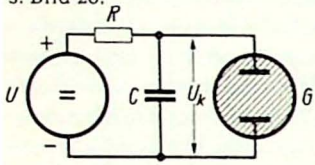
Die Größe der erforderlichen Kippspannungen läßt sich bei gegebener Empfindlichkeit der Oszillografenröhre und gegebenem Schirmdurchmesser leicht abschätzen. Hat man z. B. einen nutzbaren Schirmdurchmesser von 100 mm und beträgt die Empfindlichkeit 0,2 mm/V, so ist eine Kippamplitude von 100/0,2 = 500 Volt erforderlich. Der aussteuerbare Frequenzbereich soll sich von den tiefsten Tonfrequenzen bis zu möglichst hohen Frequenzen erstrecken. Im allgemeinen genügt es, wenn noch eine Frequenz von 500 kHz mit ausreichender Amplitude erzeugt wird. Es sei noch darauf hingewiesen, daß man auch mit Sinusspannungen eine recht brauchbare Zeitablenkung erzeugen kann, wenn man nur den geradlinigen Teil der Kurve ausnützt und bestimmte Vorkehrungen trifft, die eine Zweideutigkeit der Aufzeichnung vermeiden. Sinusförmige Ablenkspannungen können von Vorteil sein, wenn man besonders große Ablenkfrequenzen braucht, die sich mit Kippschwingungen nicht mehr leicht herstellen lassen. Wir verweisen an dieser Stelle

lediglich auf eine Arbeit neueren Datums[6]), die die hierhergehörenden Fragen in großer Ausführlichkeit bespricht.

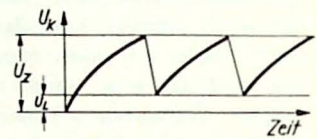
Von Bedeutung ist noch die Möglichkeit einer besonders großen „Zeitdehnung" bei der Ablenkung. Diese Fragen besprechen wir bei den fernsehtechnischen Anwendungen.

2. Erzeugung von Kippschwingungen

Es gibt verschiedene Prinzipien, von denen das einfachste an Hand von Bild 27 besprochen werden soll. Die Stromquelle mit der Gleichspannung U lädt den Kondensator C über den Widerstand R auf. Überschreitet die Spannung an C einen gewissen Wert, nämlich die Zündspannung U_z der parallel zu dem Kondensator liegenden Glimmlampe G, so setzt in dieser eine kräftige Entladung ein. Das ist gleichbedeutend mit einem plötzlichen Absinken des Innenwiderstandes R_i dieser Lampe auf einen wesentlichen kleineren Wert, als ihn der Ladewiderstand aufweist. Folglich entlädt sich nunmehr C über R_i, so daß die Spannung am Kondensator schnell zusammenbricht. Die Aufladung entspricht dem Hinlauf, die Entladung dem Rücklauf der Kippspannung. Eine volle Entladung des Kondensators bis auf Null erfolgt nicht, da die Glimmlampe bei einer über dem Nullwert liegenden „Löschspannung" (U_L) erlischt, s. Bild 28.



Links Bild 27: Eine einfache Kippschaltung



Rechts Bild 28: Verlauf der Kippspannung U_k

Die Hinlaufzeit der Kippspannung ist durch die Zeitkonstante $R \cdot C$, die Rücklaufzeit dagegen durch die Zeitkonstante $R_i \cdot C$ gegeben. Aus dieser Erkenntnis folgt zwanglos, daß die Kippfrequenz der reziproken Summe beider Zeitkonstanten proportional sein muß. Den entscheidenden Anteil hat natürlich das Produkt $R \cdot C$, da es wesentlich größer ist als $R_i \cdot C$. Für die Kippfrequenz ist aber auch die Kippamplitude maßgebend, denn eine Periode der Kippspannung ist offenbar um so kürzer, je geringer die Aufladespannung des Kondensators ist. Demnach hängt die Kippfrequenz auch noch von der die Kippamplitude bestimmenden Differenz $(U—U_L)$ ab, und zwar lautet die endgültige Formel

$$f_k = \frac{1}{C \cdot \left[R \cdot \ln \frac{U - U_L}{U - U_z} + R_i \ln \frac{U_z}{U_L} \right]} \text{ [Hz]} \qquad (5)$$

Wir wollen auf die Ableitung der Formel verzichten, weil sie für den Praktiker unwichtig ist[7]).

[6]) Klein, „radio-mentor" H. 2, 1949, S. 64.

[7]) Die genaue Ableitung, sowie zahlreiche Einzelheiten und Literaturangaben über die mit den Kippschwingungen zusammenhängenden Fragen finden sich in Günther-Richter, „Schule des Funktechnikers", Band IV.

Wie schon erwähnt, hängt die Kippfrequenz vor allem von $R \cdot C$ ab. Man wird also den Aufladewiderstand und die „Kippkapazität" C in der Praxis in weiten Grenzen veränderlich machen, um einen möglichst großen Kippfrequenzbereich erfassen zu können. Man sieht meist Bereichstufen in Form umschaltbarer Kippkapazitäten vor. Innerhalb der einzelnen Stufen wird die Kippfrequenz kontinuierlich mit veränderlichen Aufladewiderständen R geregelt. Bei gewöhnlichen Glimmlampen ist das Verhältnis U_L/U_z konstant, so daß die Kippamplitude nicht regelbar ist. Es gibt jedoch Einrichtungen, die eine Regelung zulassen.

Die Ausführungen zeigen, daß eine kurze Rücklaufzeit dann gewährleistet ist, wenn $R_i \ll R$ gemacht wird. Es kommt also sehr auf kleine Innenwiderstände des Entladungsrohres an. Das Verhältnis R_i/R wird um so größer, je größer die Kippfrequenz ist, denn R_i bleibt praktisch konstant, während R mit steigender Kippfrequenz verkleinert werden muß. Daher kommt es, daß der prozentuale Anteil der Rücklaufzeit an der gesamten Kipp-Periode bei hohen Kippfrequenzen groß wird. Man kann das leicht an vielen handelsüblichen Oszillografen feststellen; während die Rücklauflinie bei niederen Frequenzen kaum sichtbar ist, tritt sie in den hohen Frequenzstufen immer stärker hervor [A 9].

Die in Bild 27 dargestellte Schaltung hat schwerwiegende Nachteile, die ihre Verwendung für die Zeitablenkung in Oszillografen ungeeignet erscheinen lassen. Zunächst zeigt Bild 28, daß die Kurvenform keineswegs linear ist, wie das aus schon erwähnten Gründen gefordert werden muß. Die Kippspannung verläuft nach einer Exponentialkurve, die für jede Kondensatoraufladung über einen ohmschen Widerstand typisch ist [A 8]. Während anfangs infolge fehlender Gegenspannung ein kräftiger Ladestrom fließt, der einen schnellen Spannungsanstieg zur Folge hat, verkleinert sich der Strom mit wachsender Gegenspannung immer mehr, so daß die Ladespannung immer langsamer ansteigt. Mathematisch läßt sich der Anstiegsverlauf durch die Gleichung

$$u = U \cdot \left(1 - e^{-t/RC}\right) \text{ [V]} \qquad (6)$$

zum Ausdruck bringen (e = Basis der natürlichen Logarithmen). Wie man ohne weiteres einsieht, würde ein Oszillogramm, z. B. eine Sinusspannung [A 10], bei Verwendung einer derartigen Kippspannung am Anfang auseinandergezogen, am Ende jedoch zusammengedrängt erscheinen, d. h. es würde sich etwa ein Verlauf nach Bild 29 ergeben [A 10, 11].

Ein zweiter Nachteil der Schaltung ist in der relativ großen Ionenträgheit normaler Glimmlampen zu sehen. Das bedeutet, daß den erreichbaren Kippfrequenzen nach oben eine ziemlich frühe Grenze gesetzt ist, denn der Auf- und Abbau der Gasentladung kann wegen der trägen Ionen nicht schnell genug vonstatten gehen. Die Schaltung läßt sich außerdem schlecht synchronisieren, ohne nicht gleichzeitig die Meßspannung erheblich zu be-

lasten (eine Synchronisierung wäre z. B. durch Einfügen der Sekundärseite eines Transformators in den Aufladekreis möglich; die Primärseite müßte an die Meßspannung angeschlossen werden). Aus all diesen Gründen verwendet man heute die Glimmlampenschaltung nicht mehr für oszillografische Zwecke. Sie dient uns hier lediglich zur Erläuterung der grundsätzlichen Probleme, die in jeder Kippschaltung wiederkehren.

3. Linearisierung

Die Maßnahmen zur Linearisierung des Anstiegs der Kippspannung sind — soweit es sich um Schaltungen mit Kondensatoraufladung handelt — für alle Kippschaltungen dieselben und sollen daher zusammenfassend behandelt werden. Sie beruhen auf der Erzwingung eines konstanten Ladestroms unab-

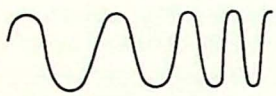
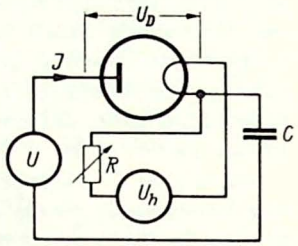


Bild 29: Verzerrtes Oszillogramm bei nichtlinearer Kippspannung

Bild 30: Diode mit Wolframfaden zur Linearisierung



hängig von der jeweils am Kondensator herrschenden Spannung. Fließt nämlich ein stets gleichgroßer Strom in den Kondensator, so steigt die Spannung zeitlinear an, weil in jedem Zeitaugenblick gleichviel Elektronen vom einen Belag fortgezogen und dem anderen Belag zugeführt werden, so daß die Potentialdifferenz gleichmäßig wächst. Die Ladung q eines Kondensators ist durch die Gleichung

$$q = J \cdot t \quad [C] \tag{7}$$

ferner durch

$$q = C \cdot U \quad [C] \tag{8}$$

gegeben, so daß sich mit (7) und (8)

$$U = \frac{J \cdot t}{C} \quad [V] \tag{9}$$

ergibt. Für J = const und C = const stehen also U und t in linearem Zusammenhang [A 12].

Es gibt verschiedene Methoden zur Erreichung eines konstanten Ladestroms. Dabei handelt es sich stets um die Schaffung eines Aufladewiderstands, der nicht konstant, sondern derart spannungsabhängig ist, daß sein Wert bei Beginn der Aufladung groß, gegen Ende der Ladung dagegen klein ist. Relativ großen Spannungsschwankungen an diesem Widerstand dürfen also praktisch keine Stromänderungen entsprechen. Die älteste, heute nicht mehr

gebräuchliche Methode ist die Einschaltung einer Diode mit Wolframfaden an Stelle des ohmschen Aufladewiderstandes, die so betrieben wird, daß die Katode gesättigt ist. Bild 30 zeigt die Schaltung. Die Diode wird von einer Stromquelle mit der Spannung U_h geheizt, der Heizstrom kann mit dem Widerstand R geregelt werden. Der Anodenstrom J der Diode entspricht dem Ladestrom des Kippkondensators C. Steigt die Spannung an diesem an, so wird die Spannung U_D immer kleiner, was jedoch auf Grund der gesättigten Diodenkatode keine nennenswerte Abnahme von J zur Folge hat,

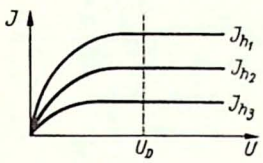


Bild 31: Kennlinien der Aufladediode

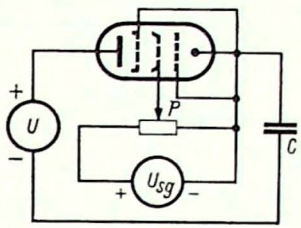


Bild 32: Pentode zur Linearisierung

wie sich aus Bild 31 ergibt. Infolgedessen ist der Kippspannungsverlauf praktisch linear. Der Ladestrom und damit die Kippfrequenz können durch Verändern des Heizstromes geregelt werden. In Bild 31 gehört zu jeder Kurve ein bestimmter Heizstrom J_h, so daß sich entsprechend viele konstante Aufladeströme ergeben.

Eine oft angewendete Linearisierungsmaßnahme besteht in der Verwendung einer Pentode als Ladewiderstand. Pentoden haben bekanntlich eine in weiten Grenzen horizontale J_a/U_a-Charakteristik, so daß derselbe Effekt wie mit einer gesättigten Diode — wenn auch auf Grund anderer physikalischer Gesetzmäßigkeiten — erzielt wird. Bild 32 zeigt das zugehörige Schaltbild. Die Regelung des Ladestroms erfolgt in diesem Fall durch Verändern der Schirmgitterspannung mit Hilfe des Potentiometers P. Die genauen Daten können von Fall zu Fall an Hand der Kennlinie ermittelt werden.

Vielseitige Möglichkeiten zur Hinlauflinearisierung eröffnen sich bei Verwendung eines Kippspannungsverstärkers, der sich auch dann empfiehlt, wenn man — wie gewöhnlich — große Amplituden am Kippgenerator selbst vermeiden will. Man sorgt durch Wahl einer passenden Entladeröhre dafür, daß die Aufladung des Kondensators schon relativ frühzeitig abgebrochen wird, also dort, wo der Spannungsanstieg noch praktisch zeitproportional — trotz Verwendung eines ohmschen Ladewiderstandes — erfolgt. Man gibt dann die so entstehende Kippspannung auf den Eingang einer Spannungsverstärkerröhre nach Bild 33 und erhält auf diese Weise am Ausgang eine entsprechend verstärkte und praktisch zeitlineare Spannung.

Die Verstärkerröhre bewirkt natürlich zusätzliche Verzerrungen, die jedoch nicht immer ungünstige Wirkungen zu haben brauchen. Man führt im Gegenteil durch Gegen- oder Rückkopplungen gelegentlich zusätzliche spannungsabhängige Nichtlinearitäten ein. Nimmt beispielsweise die Steilheit der Kippspannungskurve am Eingang mit zunehmender Spannung ab, so wird man eine spannungsabhängige Rückkopplung einführen. Sie bewirkt, daß die Verstärkung mit zunehmender Aussteuerung um einen solchen Betrag

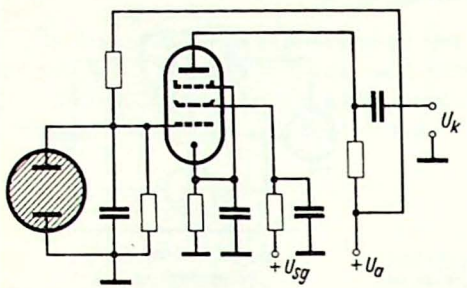


Bild 33: Kippspannungsverstärker zur Linearisierung

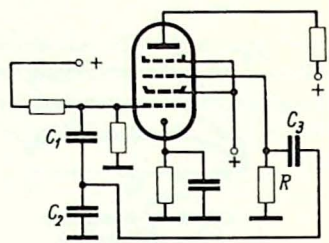


Bild 34: Spannungsabhängige Rückkopplung in einem Kippspannungsverstärker

ansteigt, daß der Steilheitsverlust gerade kompensiert wird, so daß sich eine lineare Ausgangsspannung ergibt. Nimmt dagegen die Steilheit der Eingangsspannungskurve zu, so ist sinngemäß eine Gegenkopplung entsprechender Größe am Platz. Die schaltungstechnische Verwirklichung kann beispielsweise nach Bild 34 erfolgen. Als Verstärkerröhre dient eine Regel-Hexode, deren erstes Steuergitter an der Kippspannung liegt. Der Kippkondensator besteht aus der Reihenschaltung von C_1 und C_2, die einen Spannungsteiler bilden; an C_2 kann demnach ein Bruchteil der Kippspannung abgegriffen und über C_3 dem zweiten Steuergitter der Hexode zugeführt werden, das seine Grundvorspannung über den Widerstand R erhält. Steigt die Kippspannung, so wird auch die Spannung des zweiten Steuergitters und damit die Verstärkung der Röhre größer. Gegebenenfalls kann man durch Einführen einer Vorspannung dafür sorgen, daß die Verstärkungserhöhung verzögert, d. h. erst nach Erreichen eines bestimmten Kippspannungsmindestwertes, erfolgt.

Während die Schaltung Bild 34 eine Rückkopplung bewirkt, ergibt sich bei der Anordnung nach Bild 35 eine Gegenkopplung. Das zweite Steuergitter liegt am Abgriff des Spannungsteilers R_4R_5, der vom Schirmgitterstrom der Hexode durchflossen wird. Die dadurch vorhandene positive Vorspannung des zweiten Steuergitters kann durch eine entsprechend hohe positive Katodenvorspannung, die außer durch den Katodenwiderstand R_1 durch den Widerstand R_2 erzeugt wird, überkompensiert werden (ein vorzugsweise durch R_3 gegebener Hilfsstrom sorgt für einen konstanten Span-

nungsabfall an R_2). Steigt die Spannung am ersten Steuergitter, so erhöht sich der Schirmgitterstrom, weshalb die Spannung am zweiten Steuergitter absinkt. Dadurch wird die Röhrensteilheit entsprechend herabgesetzt. Auch hier sind natürlich Verzögerungsmaßnahmen möglich, wie man die Schaltungen überhaupt in vielfacher Weise variieren kann[8]).

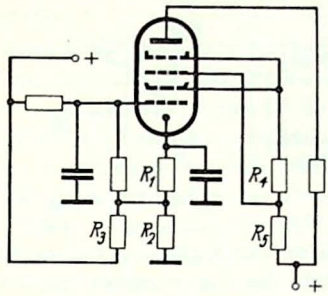


Bild 35: Spannungsabhängige Gegenkopplung in einem Kippspannungsverstärker zur Linearisierung der Kippkurve

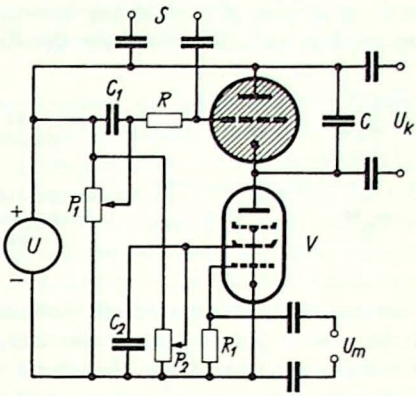


Bild 36: Thyratron-Kippgerät mit Pentode als Laderöhre

Es gibt noch weitere Linearisierungsmöglichkeiten, die im Rahmen der Oszillografentechnik jedoch kaum interessieren und daher hier übergangen werden sollen. In den modernen Oszillografen hat sich das Prinzip der Linearisierung unter Zuhilfenahme von Kippspannungsverstärkern mit mehr oder weniger großer Gegenkopplung ziemlich weitgehend durchgesetzt.

4. Kippgeräte mit Thyratronröhren

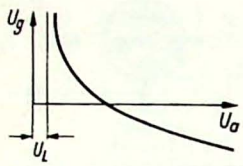
Thyratronröhren[9]) (gasgefüllte gittergesteuerte Ionen-Entladungsröhren, auch Stromtore oder Gastrioden genannt) finden sich vor allem in älteren Oszillografen. Eine Thyratronschaltung besteht nach Bild 36 aus einer mit Edelgas (Argon, Helium, Wasserstoff) schwachen Druckes gefüllten Triode, deren Anodenkreis der Entladungsstrecke einer Glimmlampe entspricht. Parallel zur Strecke Anode—Katode liegt der Kippkondensator C, der über die Ladepentode V von der Stromquelle mit der Spannung U aufgeladen wird. Das Potentiometer P_2 dient zur Regelung des Ladestroms und damit der Kippfrequenz.

---

[8]) Die Schaltungen Abb. 34 und 35 stellen Vorschläge des Verfassers dar. Dabei bleibt die Frage offen, ob die Anordnungen nicht schon an anderer Stelle bekannt sind.

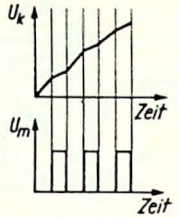
[9]) Die Bezeichnungen Thyratron, Stromtor und Gastriode sind teilweise Firmenbezeichnungen. Wir verwenden jedoch die Bezeichnung Thyratron in den folgenden Ausführungen als Sammelbegriff, da sie sich am meisten eingebürgert hat.

Bevor wir die Schaltung weiter besprechen, betrachten wir die in Bild 37 gezeigte Kennlinie eines Thyratrons. Dort ist in Abhängigkeit von der Anodenspannung U_a die Gittervorspannung $-U_g$ aufgetragen. Alle auf der Kurve liegenden Spannungswerte-Paare bewirken gerade das Einsetzen der Entladung. Man sieht, daß die negative Vorspannung um so größer sein muß, je größer die Anodenspannung der Röhre ist, wenn man ein Zünden vermeiden will. Alle oberhalb der Kurve liegenden Wertepaare führen zum



Links Bild 37: Kennlinie eines Thyratrons

Rechts Bild 38: Kippspannung, durch Rechteckspannung moduliert



Dauerzünden, alle unterhalb befindlichen Werte dagegen zu keiner Entladung. Man hat es also in der Hand, mit Hilfe der Gittervorspannung die Zündspannung der Röhre und damit auch die Differenz zwischen Lösch- und Zündspannung, d. h. die Kippamplitude, beliebig einzustellen. Das ist ein großer Vorteil des Thyratrons. Allerdings muß man in Kauf nehmen, daß sich bei Regelung der Kippamplitude auch die Kippfrequenz ändert, da diese nach Gl. (5) von der Differenz $(U—U_z)$ abhängig ist.

Wir betrachten nun nochmals Bild 36. Die für das Thyratron erforderliche Gittervorspannung wird an dem Potentiometer P_1 abgegriffen, das demnach als Regler für die Kippamplitude zu betrachten ist. Die Kondensatoren C_1 und C_2 sollen lediglich die betreffende Elektrode auf wechselstrommäßiges Nullpotential bringen.

Die Synchronisation eines Thyratrons ist sehr einfach und wirkungsvoll durchzuführen. Man braucht lediglich dem Steuergitter einen Bruchteil der Spannung des zu oszillografierenden Vorgangs zuzuführen. Entspricht die „freie" Kippfrequenz bereits ungefähr der Größe der Meßfrequenz, so sorgt diese für einen richtigen Einsatz des Kippvorgangs, zwingt also der Kippspannung ihre eigene Frequenz absolut phasenstarr auf. Die Synchronisierspannung wird einfach an die Klemmen S geschaltet. Am Widerstand R herrscht dann die Synchronisierspannung. Sehr wichtig ist die richtige Wahl der Synchronisiersignale. Sie dürfen einerseits nicht zu klein sein, damit eine hinreichend stabile Synchronisierung gewährleistet ist. Anderseits dürfen sie aber auch nicht zu groß sein, weil dann die Gefahr einer Verzerrung der Kippkurve besteht. Deshalb empfiehlt es sich, die Synchronisierspannung an einem Potentiometer abzugreifen oder sie kapazitiv zu regeln, um den richtigen „Synchronisierzwang" einstellen zu können. In den üblichen Oszillografen ist solch ein Regler vorgesehen.

Der Widerstand R_1 in Bild 36 gestattet die Steuerung des Gitters der Laderöhre durch eine zusätzliche Wechselspannung U_m. Das bedeutet eine Erhöhung bzw. Erniedrigung des Ladestroms im Rhythmus der Steuerspannung. Infolgedessen wird der Anstieg der Kippkurve entsprechend steiler oder flacher, d. h. die Kippspannung läßt sich hierdurch gewissermaßen modulieren. In manchen Sonderfällen ist das erwünscht. In Bild 38 ist eine solche Modulation für den Fall einer rechteckförmigen Steuerspannung dargestellt.

Kippschaltungen mit Thyratronröhren arbeiten bei zweckmäßigem Aufbau ausgezeichnet. In der Praxis muß man darauf achten, daß bei Vollnetzbetrieb die beiden Röhren der Schaltung nach Bild 36 aus getrennten Heizwicklungen gespeist werden, da sonst eine störende Netzmodulation auftritt. Die Leitungen zum Steuergitter des Thyratrons sind sehr störungsempfindlich und müssen daher gut abgeschirmt werden. Der prozentuale Brummspannungsrest der Stromquelle muß kleiner sein als bei Rundfunkgeräten, nach Möglichkeit $< 1\ \%$, weil sonst ebenfalls Störungen, besonders im Hinblick auf eine einwandfreie Synchronisierung, auftreten. Als Kippkapazitäten dürfen nur Kondensatoren mit bester Isolation zur Anwendung kommen. Schlechte Kondensatorisolation bedeutet bekanntlich eine Verkleinerung des parallel zum Kondensator gedachten Ableitwiderstandes, so

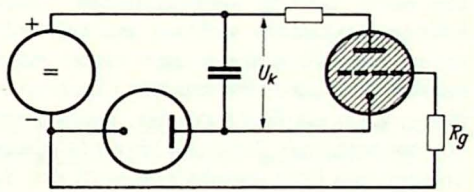


Bild 39: Schaltung mit Gittersteuerung

daß ein Teil des Aufladestroms ständig über den Widerstand fließt. Dieser Teilstrom steigt mit wachsender Kondensatorspannung, so daß der eigentliche Ladestrom gleichzeitig abnimmt, da der Summenstrom konstant ist. Die Folgen sind unliebsame Verzerrungen der Kippkurve. Wenn also mit einer Schaltung nach Bild 36 trotz richtiger elektrischer Dimensionierung keine einwandfreie Kippkurve zu erreichen ist [A 11], so kann man die Ursache hierfür gewöhnlich in einem minderwertigen Kippkondensator suchen.

Thyratronröhren sind bis zu Frequenzen von etwa 100...200 kHz brauchbar, liefern jedoch in Nähe der oberen Grenzfrequenz nur noch kleine Amplituden. Da der Innenwiderstand der gezündeten Röhre sehr klein ist, erhält man im unteren und mittleren Frequenzbereich kurze Rücklaufzeiten.

Die obere Frequenzgrenze läßt sich mit Hilfe einer Schaltung nach Bild 39 noch weiter hinausschieben. Die Schaltung beruht auf dem Gedanken, daß man die Ionisierungsvorgänge im Innern der Röhre durch Gittersteuerung beeinflussen kann. Gewöhnlich dient das Steuergitter des Thyratrons nur zur

Synchronisierung; man kann nämlich, sobald die Zündung einmal eingeleitet worden ist, durch das Steuergitter die Entladung nicht mehr rückgängig machen. Trotzdem haben Versuche gezeigt, daß sich bei geeigneter Steuerung des Gitters im Innern der Röhre Bedingungen ergeben, die zu einer Herabsetzung der Trägheitserscheinungen führen. In Bild 39 ist nun die negative Gitterspannung in Abhängigkeit von der Anodenspannung gebracht, wodurch sie im Augenblick der Zündung fast auf den vollen Wert der Ladespannung des Kondensators ansteigt. Durch diese Steuerungsmaßnahme konnten Kippfrequenzen bis 10^6 Hz bei allerdings relativ großer Rücklaufzeit und Kippamplituden bis 300 V erzielt werden.

Thyratronröhren eignen sich übrigens ausgezeichnet zur Herstellung steiler Rechteckimpulse, mit denen man das Gitter einer gewöhnlichen Elektronenröhre steuern kann[10]). Mit Hilfe besonderer Schaltungen läßt sich erreichen, daß das Bild eines kurzzeitigen Impulses auf dem Leuchtschirm der Oszillografenröhre stark gedehnt erscheint. Auf diese Weise wird es möglich, auch Impulsreihen mit großem Tastverhältnis zu untersuchen. Für die Fernsehtechnik haben solche Schaltungen Bedeutung erlangt (siehe später).

Thyratronröhren lassen sich auch sehr gut mit ganzzahligen Vielfachen oder Bruchteilen der Meßfrequenz synchronisieren. Derartige Frequenzunterteilungen sind sehr wichtig, wenn man beispielsweise mehrere Perioden eines zeitlich veränderlichen Vorgangs auf dem Leuchtschirm einer Katodenstrahlröhre sichtbar machen will. Praktisch geht diese Einstellung derart vor sich, daß man dem Gitter einen ausreichenden Bruchteil der Meßspannung zuführt und nun die Kippfrequenz langsam verringert. Dann ergibt sich jeweils ein Stillstand des Oszillogramms, sobald die Kippfrequenz genau ein ganzzahliger Bruchteil der Meßspannung geworden ist [A 13]. Mit zunehmendem Frequenzabstand wird der Synchronismus allerdings immer unstabiler. Ein Thyratron erlaubt jedoch eine einwandfreie Synchronisierung bis zu einem Frequenzverhältnis von 20:1.

Gittergesteuerte Gasentladungsröhren werden vor allem von der Valvo-G. m. b. H., Siemens und der AEG hergestellt. Wir bringen im 4. Kapitel die Daten der wichtigsten Röhren.

5. Kippgeräte mit Hochvakuumröhren

Für oszillografische Zwecke reicht das Thyratron im allgemeinen aus. Trotzdem haben die immer größere Bedeutung der Impulstechnik und die Verbesserung der Hochvakuumröhren-Schaltungstechnik dazu geführt, daß wir heute in den meisten Oszillografen Kippgeräte mit Hochvakuumröhren finden. Man kam dabei vor allem dem Bedürfnis der Fernsehtechniker entgegen, die — wie wir noch hören werden — an die Oszillografen wesentlich größere Anforderungen stellen. Thyratron-Kippgeräte erfüllen für solche Untersuchun-

[10]) Kroebel, Arch. Elektr. Übertrag. 1, H. 3/4, S. 108.

gen aus verschiedenen Gründen nicht immer vollständig ihren Zweck, und man muß zu Hochvakuumröhren-Anordnungen greifen. Aber auch aus anderen Gründen haben solche Schaltungen erhebliches Interesse; sie liefern eine größere Konstanz sowohl hinsichtlich Amplitude als auch Frequenz, und die Hochvakuumröhren haben außerdem eine größere Lebensdauer als die gasgefüllten Thyratrons, deren Katode durch das Ionenbombardement stark beansprucht und daher relativ früh verbraucht wird. Aus all diesen Erwägungen haben sich heute die Elektronenröhren-Kippgeräte auch in der oszillografischen Technik weitgehend durchgesetzt.

Man unterscheidet in schaltungstechnischer Hinsicht zwei große Gruppen, die unselbständigen und die selbständigen Kippeinrichtungen. Während die erstgenannten Anordnungen bei verhältnismäßig großem Aufwand fast allen

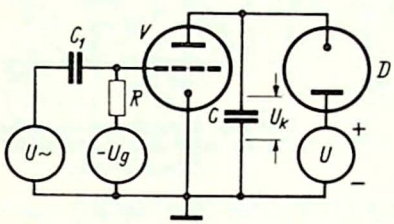


Bild 40: Grundsätzliche Schaltung von unselbständigen Kippgeräten

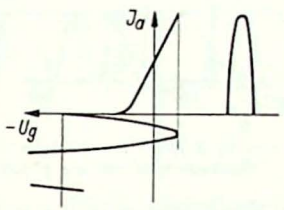


Bild 41: Zur Wirkungsweise des unselbständigen Kippgerätes

erdenklichen Ansprüchen gewachsen sind, haben die selbständigen Kippgeräte den Vorzug größerer Einfachheit, sind jedoch teilweise nur beschränkt brauchbar.

Wir besprechen zunächst den Grundtyp der unselbständigen Schaltungen. Sie benötigen zum Arbeiten stets eine besondere Steuerspannung; fehlt diese, so werden keine Kippschwingungen erzeugt.

Die Wirkungsweise ist an Hand von Bild 40 ohne weiteres verständlich. Eine Elektronenröhre V, deren Innenwiderstand sich mit Hilfe der Steuergitterspannung auf möglichst kleine Werte regeln lassen muß, ist über den Widerstand R von der Gittervorspannung $-U_g$ so weit negativ vorgespannt, daß sich der Arbeitspunkt weit außerhalb der Kennlinie befindet. Im Anodenkreis der Röhre liegt ein Kondensator C, der über eine gesättigte Diode D (oder auch über eine Ladepentode) von der Stromquelle mit der Spannung U zeitlinear aufgeladen wird. Das Steuergitter erhält über den Kondensator C_1 eine Wechselspannung $U_\sim$ zugeführt, deren positive Amplitude nicht nur die negative Vorspannung aufhebt, sondern die unter Umständen weit in das Gitterstromgebiet hineinragt. Sie hat den Zweck, die Röhre V möglichst schnell auf sehr kleine Innenwiderstandswerte zu steuern. Ist das der Fall,

so entlädt sich der Kippkondensator C über den Innenwiderstand von V; es fließt also ein starker Anodenstrom, wie sich aus Bild 41 deutlich ergibt. Dadurch ist der Rücklauf der Kippschwingung gegeben.

Voraussetzung für ein einwandfreies Arbeiten ist in erster Linie eine hinreichend leistungsfähige Entladeröhre. Verwendet man Pentoden, so erfolgt auch die Entladung zeitlinear, falls die restliche Anodenspannung groß genug bleibt. Dadurch werden die Umkehrpunkte der Kippspannung stark ausgeprägt. Von Bedeutung ist weiterhin die Größe der negativen Gittervorspannung und der steuernden Wechselspannung. Je größer beide sind, um so kürzere Zeit dauert die Entriegelung der Röhre, weil die Gittervorspannung dann nur während eines entsprechend kleinen Bruchteils der Steuerspannungsperiode aufgehoben wird.

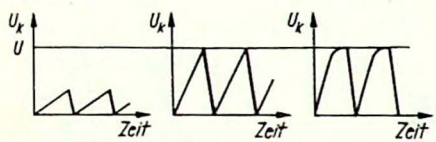


Bild 42: Einfluß der richtigen Aufladezeitkonstante auf die Kippkurve

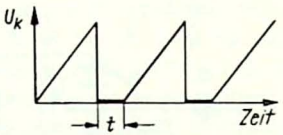


Bild 43: Kippkurvenverlauf bei zu lange dauernder Entriegelung der Entladeröhre

Die Kippfrequenz ist natürlich in erster Linie durch die Frequenz von U~ gegeben. Diesem Wert muß daher die durch den Kippkondensator C und den Innenwiderstand der Aufladeröhre gegebene Zeitkonstante angepaßt werden, wenn die Schaltung entsprechend arbeiten soll. Man erreicht das durch richtige Wahl des Kippkondensators und des Aufladestroms. In Bild 42 sind die drei möglichen Fälle gezeigt. In Figur a ist die Zeitkonstante zu groß; lange bevor die Spannung am Kondensator den Maximalwert U erreicht hat, setzt die Entladung ein, so daß sich zwar eine lineare Kurve, aber eine zu kleine Kippamplitude ergibt. In Figur b ist die Zeitkonstante gerade richtig. Hat der Kondensator die volle Spannung U erreicht, so erfolgt die Entladung. Figur c schließlich zeigt die Wirkung einer zu kleinen Zeitkonstante. Die volle Aufladung ist bereits vor dem Zeitpunkt des Einsatzes der Steuerspannung erreicht, so daß die Kurve abknickt und bis zum Einsatz der Entladung fast waagerecht verläuft [A 14]. Der Fall c hat praktische Bedeutung beim sog. Triggerbetrieb, der später erörtert wird.

Die Herstellung der erforderlichen großen Steuerspannung bedingt einen nicht unerheblichen Aufwand. Macht man sie zu klein, so bleibt die Röhre auch dann noch entriegelt, wenn die Entladung des Kippkondensators bereits beendet ist. Das wirkt sich auf den Kippspannungsverlauf entsprechend Bild 43 aus. Auch dieser Zustand kann bei dem erwähnten Triggerbetrieb von Bedeutung sein. Will man die erforderlichen hohen Sinusspannungen ver-

meiden und trotzdem eine kurze Entriegelungszeit erzielen, so muß man aus der Sinusspannung vorher Impulse herstellen. Das kann z. B. mit einer Anordnung nach Bild 44 geschehen. Die sinusförmige Wechselspannung $U_{\sim}$ steuert wie vorhin über C_1 das Gitter einer durch $-U_g$ vorgespannten Röhre V_1. Während der positiven Halbwelle fließt daher ein kräftiger Katodenstrom durch den Transformator T, so daß an seiner Sekundärseite nach Bild 45 zwei zum Anstieg und Abfall gehörige positive und negative Spannungsspitzen U_s entstehen. Ihre Amplitude hängt von der Anstiegssteilheit

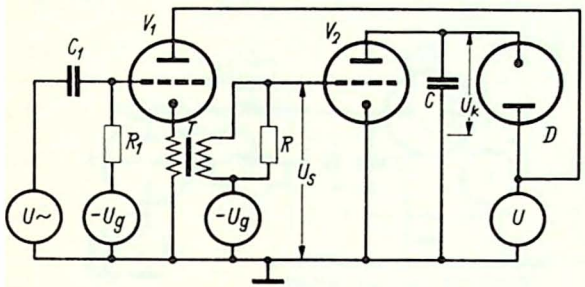


Bild 44: Kippgerät mit Impulssteuerung

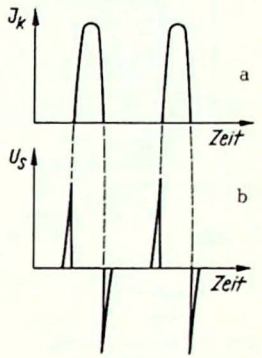


Bild 45: Impulserzeugung durch Differentiation

des Katodenstroms ab, denn U_s ist der Differentialquotient von J_k. Da es möglich ist, daß die Transformatorwicklungen von dem Anstieg des Katodenstroms in ihrer Eigenwelle angestoßen werden und demnach gedämpfte und natürlich störende Schwingungen vollführen, schaltet man parallel zur Sekundärseite einen passenden Dämpfungswiderstand R, der die Schwingung bis zur Aperiodizität dämpft. Die Impulse sind außerordentlich kurz und eignen sich daher vorzüglich zur Entriegelung der Kipp-Entladungsröhre V_2, so daß an C die gewünschte Kippspannung auftritt. Die negativen Impulse bleiben natürlich ungenützt [A 15].

Die beschriebenen Schaltungen haben den großen Vorteil, daß die Frequenzkonstanz unmittelbar durch die Eigenschaften des Steuergenerators bestimmt ist. Durch Verwendung kleiner Steuersender mit hochwertigen Schwingungskreisen kann man daher Kippschwingungen mit der den Schwingungskreisen entsprechenden Frequenzkonstanz erzeugen. Darüber hinaus lassen sich solche Röhrengeneratoren besonders leicht synchronisieren, eine Erscheinung, die man bei jedem schwingenden Audionempfänger bei der Aufnahme eines starken Senders beobachten kann. Synchronismus ist dann gegeben, wenn das Interferenzpfeifen noch vor dem Erreichen der Frequenzübereinstimmung plötzlich abreißt („Mitnahme").

Nachteilig sind der verhältnismäßig große Aufwand und die komplizierte Anpassung des Ladestroms an die Resonanzfrequenz des Steuersenders bei der kontinuierlichen Frequenzregelung. Die jetzt zu besprechenden selbständigen Elektronenröhren-Kippgeräte sind von diesem Nachteil frei. Aus der Vielzahl der möglichen Anordnungen wollen wir nur die wichtigsten erwähnen.

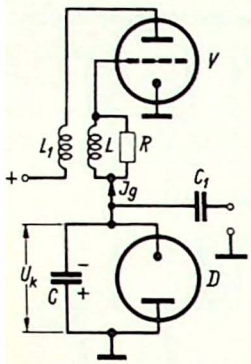
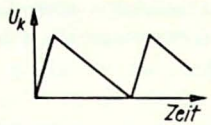


Bild 46: Grundschaltung des Sperrschwingers

Bild 47: Form der Kippschwingung eines Sperrschwingers



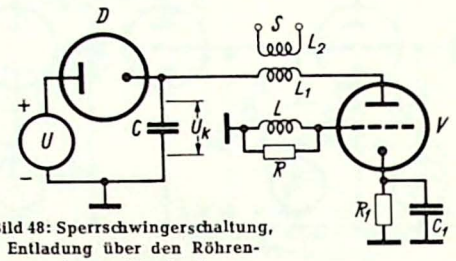


Bild 48: Sperrschwingerschaltung, Entladung über den Röhreninnenwiderstand

Eine der bekanntesten Schaltungen ist der Sperrschwinger (blocking-oscillator). Es gibt viele Abarten, die stets auf dieselbe, in Bild 46 dargestellte Anordnung zurückgeführt werden können. Wird die Anodenspannung an die Röhre V gelegt, so fließt ein kräftiger Anodenstrom, da zunächst keinerlei Gittervorspannung vorhanden ist. Dadurch wird auf das Gitter ein kräftiger Impuls induziert, weil L mit dem Anodenkreis über die Spule L_1 rückgekoppelt ist. Der Impuls verursacht einen beträchtlichen Gitterstrom J_g, der den Kondensator C mit der eingetragenen Polarität auflädt. Dadurch wird das Gitter negativ vorgespannt, bis die Röhre blockiert wird, so daß sich C über die Sättigungsdiode D (oder eine Pentode) zeitlinear entladen kann. Ist die Kondensatorspannung soweit gesunken, daß der Anodenstrom wieder zu fließen beginnt, so setzt der Vorgang erneut ein, der Gitterstrom lädt den Kondensator C wieder auf usw. Der sich ergebende Kippspannungsverlauf ist in Bild 47 dargestellt. Die Sättigungsdiode D ist überflüssig, wenn man die Kippschwingung durch andere Mittel linearisiert, wofür aus der Fernsehtechnik viele Möglichkeiten bekannt geworden sind. [A 16, 17].

Durch Parallelschalten eines Widerstandes R zu L kann man das Auftreten von Eigenschwingungen der Transformatorwicklungen verhindern und gleichzeitig die Rücklaufzeit beeinflussen, denn diese ist davon abhängig, wie stark die Röhre durch den Gitterimpuls ausgesteuert, wie groß also der Widerstand

der Strecke Gitter—Katode während der Aussteuerungszeit ist. Selbstverständlich empfehlen sich im Interesse einer kurzen Rücklaufzeit Röhren mit großer Katodenemission, z. B. Endpentoden. Die Spulen sollen möglichst eng gekoppelt und so bemessen werden, daß der Rückkopplungsvorgang praktisch aperiodisch verläuft.

Eine interessante Schaltung[11]) des Sperrschwingers ist in Bild 48 dargestellt. Die Kippkapazität C wird über D von der Spannung U aufgeladen, bis in V ein Anodenstrom zu fließen beginnt und der Gitterimpuls einsetzt. Der Konden-

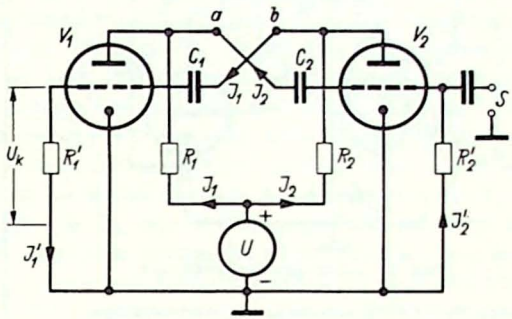


Bild 49: Der Multivibrator

sator C wird nun über den Innenwiderstand von V entladen. Inzwischen hat sich am Katodenkondensator C_1 eine Spannung aufgebaut, die das Gitter so stark negativ vorspannt, daß die Röhre blockiert. Nunmehr kann sich C wieder über D aufladen. Die auf diese Weise entstehenden Kippspannungen haben den z. B. in Bild 28 dargestellten Verlauf.

Neben den etwas weniger verwendeten Sperrschwingern hat auch die Gruppe der Multivibratoren große Bedeutung. Diese Schaltungen tauchen immer wieder in allen möglichen Abwandlungen auf. In Bild 49 sehen wir die Grundschaltung. Entsteht beispielsweise plötzlich ein starker Strom J_1, so wird der Punkt a der Schaltung sprunghaft negativer und demnach auch das Gitter der Röhre V_2, da ein Umladestrom J'_2 durch C_2 auftritt. Dadurch verschwindet der Anodenstrom J_2 und Punkt b wird positiver, wodurch das Gitter der Röhre V_1 infolge des Umladestromes J'_1 noch positiver wird. Nach Beendigung des Ausgleichvorgangs wird sich jedoch C_2 über R_1 langsam entladen, d. h. die Gitterspannung von V_2 wird langsam positiver, bis J_2 zu fließen beginnt. Dadurch wird Punkt b negativer und damit das Gitter von V_1, J_1 verschwindet, Punkt a wird positiver, ebenso das Gitter von V_2, so daß J_2 erst recht anwachsen kann usw. bis zur nächsten Umladung. Die Anordnung kippt also von selbst hin und her, wobei die Kippfrequenz in

[11]) Schaltung der englischen Firma Cossor.

erster Linie durch die Zeitkonstanten, ferner durch die äquivalenten Werte von „Zünd-" und „Lösch"spannung, d. h. durch die Eigenschaften der Kippröhre, gegeben ist. Bei geeigneter Bemessung lassen sich Kippfrequenzen bis 10^6 Hz und Rücklaufzeiten von $10^{-6}...10^{-7}$ sec herstellen. Die Kippspannung kann am Gitter der ersten Röhre V_1 abgenommen werden. Da C_2 den Rücklauf bestimmt, muß man diesen Wert wesentlich kleiner wählen als den von C_1, der für den Hinlauf maßgebend ist. Mit einem großen R_1 erzielt

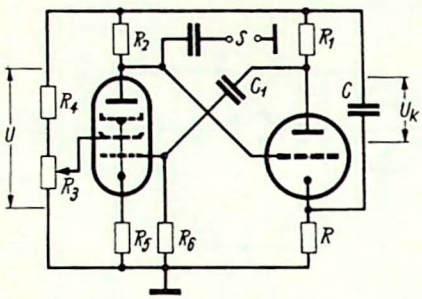
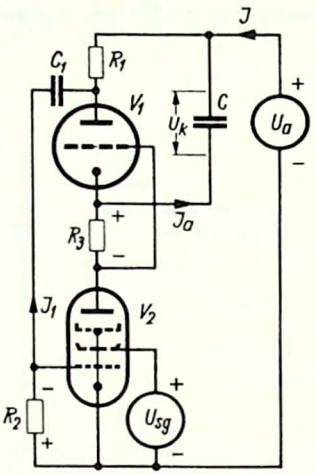


Bild 50: Abart des Multivibrators



Rechts Bild 51: Kippschaltung mit wechselseitiger Steuerung

man einen fast linearen Spannungsanstieg. Die Synchronisierung der Schaltung geschieht zweckmäßig durch Beeinflussen des Gitters der Röhre V_2.

Eine Abart des Multivibrators ist in Bild 50 gezeigt. Zwischen den beiden Röhren in dieser Abbildung besteht einerseits eine kapazitive, anderseits eine galvanische Kopplung. Zunächst wird der Kondensator C über den Widerstand R von der Spannung U aufgeladen. Der Strom in der ersten Röhre wird mit der durch R_3 regelbaren Schirmgitterspannung so eingestellt, daß während der Ladung von C die Anode der ersten und damit das Gitter der zweiten Röhre so stark negativ gegen die Katode der zweiten Röhre werden, daß in dieser kein Strom fließen kann. Mit zunehmender Ladung von C wird die Spannung am Gitter der zweiten Röhre immer weniger negativ, so daß in ihr ein Strom zu fließen beginnt. Dadurch entsteht an R_1 ein Spannungsabfall, das Gitter der ersten Röhre wird über den Kondensator C_1 kurzzeitig negativ, so daß der zugehörige Anodenstrom sinkt. Demzufolge wird das Gitter der zweiten Röhre noch positiver, so daß deren Anodenstrom noch weiter steigt. Der Innenwiderstand wird also plötzlich sehr klein, so daß sich C entladen kann. Danach hört der Strom in R_1 wieder auf zu fließen und die Aufladung beginnt von neuem. Auch hier sind Zünd- und Löschspannung durch die Eigenschaften der Röhre definiert. Selbstverständ-

lich kann man den Widerstand R durch einen Sättigungsstromlieferanten oder eine Schirmgitterröhre zur Linearisierung des Anstiegs ersetzen. Die Synchronisierung erfolgt am Gitter der zweiten Röhre an den Klemmen S.

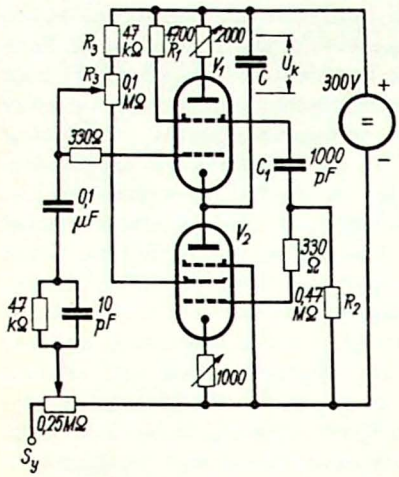
Es gibt Röhrenkippschaltungen, die auf dem Dynatron- und Negadynprinzip beruhen. Wir gehen wegen ihrer Bedeutungslosigkeit für oszillografische Zwecke nicht näher darauf ein. Auch von den zahlreichen Anordnungen, die sich insbesondere für die magnetische Strahlablenkung im Fernsehen eignen, soll hier nicht weiter die Rede sein. Abschließend sei noch eine englische Schaltung neueren Datums[12]) herausgegriffen, die auf einer gegenseitigen Steuerung von Lade- und Entladeröhre beruht. Bild 51 zeigt die Anordnung. V_1 ist die Entladeröhre, V_2 die Laderöhre. Der Kippkondensator C wird von der Spannung U_a über V_2, R_3 und R_1 aufgeladen. Der konstante Ladestrom J (V_2 ist eine Pentode) ruft an R_3 einen konstanten Spannungsabfall mit der eingetragenen Polarität hervor, so daß das Gitter der Entladeröhre V_1 soweit negativ vorgespannt wird, daß kein Anodenstrom fließen kann. Erst kurz vor Beendigung der Ladung sinkt der Ladestrom und damit die Spannung an R_3, so daß ein Anodenstrom J_a in V_1 zu fließen beginnt. Folglich tritt an R_1 ein Spannungsabfall auf, der das Potential der Anode von V_1 negativer macht. Es fließt demnach ein Ausgleichstrom J_1 über R_2 und C_1, der einen Spannungsabfall an R_2 in der Form hervorruft, daß das Gitter von V_2 negativ vorgespannt wird. Infolgedessen sinkt die Spannung an R_3 weiter ab, so daß der Anodenstrom J_a sehr schnell ansteigt. Das hat natürlich wieder einen entsprechend großen Spannungsabfall an R_1 und demnach eine weitere Sperrung von V_2 zur Folge, so daß J_a erst recht ansteigt. Dieses Zusammenwirken erfolgt außerordentlich schnell, d. h. die Rücklaufzeit der Kippschwingung ist sehr kurz. Nach Beendigung der Entladung verschwindet der Anodenstrom, so daß V_2 wieder freigegeben wird. Der einsetzende Ladestrom verriegelt über den Spannungsabfall an R_3 die Entladeröhre V_1, so daß sich C wieder aufladen kann.

Der Ausgleichstrom J_1 hat impulsförmigen Charakter, die Dauer des Impulses hängt von der Zeitkonstante $C_1 \cdot R_2$ ab. Je größer diese ist, um so größer wird die Kippamplitude, da die beschriebene wechselseitige Steuerung dann erst relativ spät, d. h. bei fast ganz aufgeladenem Kippkondensator, einsetzt. Die Rücklaufzeit ist jedoch verhältnismäßig groß, weil der langsame Ausgleich der Ladung von C_1 die plötzliche Sperrung der Laderöhre V_2 verhindert. Eine kurze Zeitkonstante R_2 C_1 dagegen liefert kleinere Amplituden, aber kurze Rücklaufzeiten. Die Synchronisierung erfolgt zweckmäßigerweise durch Spannungsstöße auf das Gitter der Entladeröhre.

In Bild 52 ist eine praktische Schaltung dieser Anordnung mit den elektrischen Daten gezeigt. Sie unterscheidet sich von Bild 51 dadurch, daß der Widerstand R_3 nicht unmittelbar im Ladekreis, sondern in der Schirmgitter-

[12]) Keen, linear saw-tooth generator, Wireless Engineer Band 25, Juli 1948, S. 210.

leitung der Laderöhre V_2 liegt. Außerdem befindet sich der Widerstand R_1 nicht im Ladekreis, sondern in der Schirmgitterleitung von V_1. Am Widerstand R_3 kann die Amplitude eingestellt werden, der in der Anodenleitung von V_1 befindliche Regelwiderstand gestattet die Regulierung des Rücklaufs.



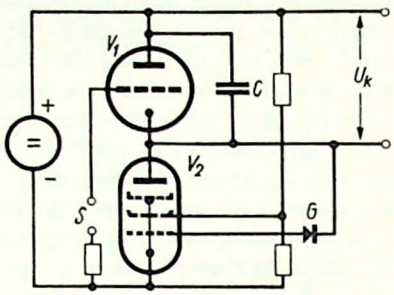


Bild 53: Schaltung zur Synchronisierung mit zusätzlicher Beeinflussung der Laderöhre

Links Bild 52: Praktische Ausführung der Schaltung nach Bild 51

Der Ladestrom und damit die Kippfrequenz können am Katodenwiderstand von V_2 zusätzlich reguliert werden. Als Entladeröhre dient zweckmäßigerweise eine möglichst steile Endpentode mit starker Katode, während als Laderöhre eine beliebige Hochfrequenzpentode Verwendung finden kann. Es ist natürlich wichtig, daß diese Röhre stets im Bereich horizontaler Anodenstrom-Anodenspannungs-Charakteristik arbeitet, damit ein konstanter Ladestrom, also eine zeitlineare Aufladung, zustande kommt.

Eine in der Praxis sehr wichtige und außerordentlich leistungsfähige Schaltung ist das sog. Miller-Transitron [13]) mit seinen Abarten (Phantastron, Sanatron usw.). Es handelt sich dabei um die Kombination zweier an sich voneinander unabhängiger Systeme, nämlich den Miller-Integrator, mit dessen Hilfe man sehr lineare Hinlaufkurven erzielen kann, und das Transitron, das eine mit „aktivem" Schirmgitter und Bremsgitter arbeitende Einröhren-Kippschaltung darstellt. Neben einem sehr kleinen Aufwand hat diese Kombination in elektronischer Hinsicht so viele Vorzüge, daß sie im 4. Kapitel ausführlicher an Hand eines interessanten und leistungsfähigen Selbstbaugerätes besprochen werden soll.

Ferner soll ein neuerdings aufgetauchter Vorschlag [14]) erwähnt werden,

[13]) Briggs, Electronics Engineering 20. Sept. 48, S. 279.

[14]) Hartog and Muller, oscilloscope time-base circuit, Wireless Engineer 24, Okt. 47, S. 287.

der auf eine besonders stabile Synchronisierung abzielt. In Bild 53 ist das Schaltbild wiedergegeben. Die Synchronisierspannung wird wie üblich dem Steuergitter der Entladeröhre V_1 zugeführt. Löst der Synchronisierimpuls eine Entladung aus, indem er kurzzeitig die „Zünd"-spannung von V_1 herabsetzt, was eine Frequenzerhöhung der Kippspannung zur Folge hat, so wird die Kippamplitude kleiner. Da das Steuergitter der Laderöhre V_2 über einen entsprechend gepolten Gleichrichter G mit der Kippspannung in Verbindung steht, bedeutet dieser Amplitudenrückgang eine Verringerung der Vorspannung des Steuergitters und damit ein Steigen des Ladestroms, was die oben erwähnte Frequenzerhöhung unterstützt. Die Kippfrequenz wird also zusätzlich gewissermaßen von der Synchronisierspannung mitgezogen. Dieser Effekt geht in der Schaltung Bild 53 so weit, daß eine Veränderung der Synchronisierfrequenz in einem Bereich von etwa 1 : 10 keinerlei Nachregulierung der Kippfrequenz erfordert. Es gibt noch weitere Vorschläge, die denselben Effekt hervorzurufen gestatten [14a]).

IV. Oszillografenverstärker

1. Eigenschaften und Anforderungen

Die in viele Oszillografen eingebauten Verstärker haben die Aufgabe, die zu oszillografierende Meßspannung so weit zu verstärken, daß eine genügend große Amplitude zur Durchsteuerung des Leuchtschirms vorhanden ist. Im allgemeinen genügt ein Verstärkungsgrad bis etwa 10^2...10^4 vollständig, in Sonderfällen sind Werte bis etwa 10^5 erforderlich.

Da die Form des zeitlichen Verlaufs der Meßspannung in all ihren Teilen unbedingt gewahrt bleiben muß, sind die Anforderungen an solch einen Verstärker ungewöhnlich groß. Es genügt nicht, wenn das Frequenzband des Verstärkers die Grundwelle des zu untersuchenden Vorgangs erfaßt, sondern der Frequenzbereich muß groß genug sein, um auch alle in der Meßspannung steckenden Oberwellen, die für die Kurvenform von ausschlaggebender Bedeutung sind, mit einzuschließen. Soll z. B. eine verzerrte Sinusspannung mit einer Grundwelle von 10 000 Hz, deren Kurvenform noch durch die fünfte Oberwelle bestimmt wird, oszillografiert werden, so muß der Verstärker eine Bandbreite von mindestens 50 kHz haben.

Eine weitere Eigenschaft, die meist nicht gebührend hervorgehoben wird, ist der Phasengang des Verstärkers. Das Oszillogramm einer verstärkten Meß-

[14a]) Asher, „A self adjusting time base", Electronic Engineering 22, Febr. 50, S. 61, ferner „Oszillograf mit automatischer Zeitablenkung", radio-mentor, 1953, H. 2, S. 76.

spannung entspricht nur dann in seiner Form dem Verlauf der unverstärkten Spannung, wenn sich der Phasenwinkel zwischen Eingangs- und Ausgangsspannung innerhalb des Frequenzbereichs, in den sämtliche Komponenten der Meßspannung fallen, linear mit der Frequenz ändert. Nur dann ist nämlich die Laufzeit im Verstärker für alle Frequenzen konstant, was eine wichtige Vorbedingung für die unverzerrte Wiedergabe des Oszillogramms ist.[15])

Um das zu verstehen, brauchen wir nur zu überlegen, daß unter der Voraussetzung konstanter Laufzeit eines Signals im Verstärker die Phasenverschiebung zwischen Eingangs- und Ausgangsspannung um so größer sein muß, je größer die Frequenz ist, denn bei kleineren Frequenzen gehört zu einer bestimmten Zeit eine kleinere Phasenänderung als bei hohen Frequenzen, bezogen auf dieselbe Zeit. Die Phasenwinkel müssen also der Frequenz wenigstens innerhalb des interessierenden Bandes proportional sein. Dann hat man die Gewähr, daß jede Frequenzkomponente mit derselben Geschwindigkeit durch den Verstärker läuft. Wäre das jedoch aus irgendeinem Grunde nicht der Fall, so würde das Oszillogramm verzerrt werden, denn nun treffen die einzelnen, für den Verlauf des Signals charakteristischen Frequenzkomponenten in einer anderen zeitlichen Zusammensetzung am Verstärkerausgang ein. Steigt z. B. ein Signal anfänglich stark an, um später flach abzufallen, so sind die hohen Frequenzkomponenten vor allem im Anstieg zu suchen. Treffen diese nun am Verstärkerausgang im Verhältnis zu den tiefen Frequenzen später ein, so wird der Anfangsteil des Signals flacher, der mittlere oder letzte Teil des Oszillogramms dagegen steiler, als es dem Originalvorgang entspricht. Aus dieser Erläuterung ergibt sich die Bedeutung, die dem Phasenverlauf eines Verstärkers in der oszillografischen Praxis zukommt.

Eine weitere Forderung an den Verstärker ist die nach amplitudenunabhängiger Verstärkung, d. h. nach einer entsprechenden Sicherung gegen Übersteuerung. Es muß verlangt werden, daß der Verstärker selbst bei voller Aussteuerung des Leuchtschirms noch nicht übersteuert ist. Das setzt vor allem entsprechend bemessene Röhren, einen richtigen Außenwiderstand und eine genügend große Anodenspannung voraus.

Der Oszillografenverstärker soll im allgemeinen von den tiefsten Tonfrequenzen bis herauf zu möglichst großen Hochfrequenzen gleichmäßig verstärken. Deshalb kommen nur gleichstrom- oder kapazitätsgekoppelte Widerstandsverstärker, evtl. auch Trägerfrequenzverstärker in Betracht, gegebenenfalls mit Korrekturgliedern zur Korrektur der hohen und tiefen Frequenzen. Damit muß man jedoch sehr sparsam sein, weil sie bei falscher Bemessung zu Phasenverzerrungen führen.

---

[15]) Der Fall, daß der Phasenwinkel innerhalb des gesamten Frequenzbereichs Null ist, würde bedeuten, daß überhaupt keine Laufzeit vorhanden wäre. Dieser Zustand läßt sich in der Praxis niemals verwirklichen.

Die bisher erläuterten Forderungen sind in den Bildern 54 und 55 nochmals zusammengestellt. In der oberen Figur von Bild 54 sehen wir den Frequenzgang. Die Bandbreite entspricht dem Abstand von $f = 0$ bis $f = f_0$, d. h. bis zu derjenigen Frequenz, bei der die Verstärkung bis auf $V_{max}/\sqrt{2}$ gefallen

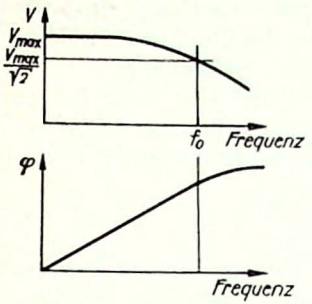


Bild 54: Erforderlicher Frequenz- und Phasenverlauf von Oszillografenverstärkern

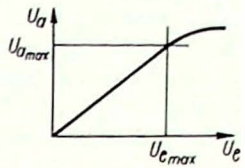


Bild 55: Amplitudenkurve des Oszillografenverstärkers

ist. Die darunterstehende Figur zeigt den Phasenverlauf, in dem Proportionalität zwischen dem Phasenwinkel φ zwischen Eingangs- und Ausgangsspannung und der Frequenz innerhalb der Bandbreite des Verstärkers zum Ausdruck kommt. Bild 55 schließlich zeigt die erforderliche Proportionalität zwischen Eingangs- und Ausgangsspannung. Die Höchstspannung $U_{e\,max}$ am Eingang ruft eine Höchstspannung $U_{a\,max}$ am Ausgang hervor. Darüberliegende Werte führen zu einer Übersteuerung des Verstärkers.

2. Verstärkerschaltungen

Die Schaltungstechnik der Oszillografenverstärker entspricht, wenn die im vorigen Abschnitt angegebenen Forderungen berücksichtigt werden, im allgemeinen der normalen Verstärkertechnik. Die breiten Frequenzbänder erfordern sehr kleine ohmsche Außenwiderstände im Anodenkreis der Verstärkerröhren, damit die parallelliegende Kapazität ohne nennenswerten Einfluß bleibt. Die obere Grenzfrequenz f_0 einer Verstärkerstufe errechnet sich nach der einfachen Formel

$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_p \cdot C_p} \text{ [Hz]} \qquad (10)$$

wobei R_p der ohmsche Wert des Außenwiderstandes in Ohm und C_p die gesamte schädliche Parallelkapizität in Farad darstellen. Dabei ist die Grenzfrequenz f_0 dem zwischen $f = 0$ und $f = f_0$ liegenden Frequenzband gleichzusetzen, und zwar unter der Voraussetzung gleichstromdurchlässiger Kopplung. Das trifft bei einer Stufe meistens zu.

Die Außenwiderstände werden, wie schon erwähnt, für große Bandbreiten sehr klein. Soll die Bandbreite z. B. 1 MHz betragen und nehmen wir eine schädliche Parallelkapazität von $C_p = 30$ pF an, so darf der Außenwiderstand nach Gl. (10) höchstens etwa 5 kΩ betragen. Um mit diesen Werten eine

ausreichende Verstärkung zu erzielen, benötigt man steile Röhren. Nehmen wir z. B. die EF 80 mit etwa 7 mA/V, so bekommen wir eine Verstärkung von $V = S \cdot R_a = 7 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 10^3 = 35$. Für eine Verstärkung von $V = 1000$ werden also bereits zwei Röhren benötigt. Der Aufwand ist daher nicht unbeträchtlich und kann nur durch Verwendung möglichst steiler und kapazitätsarmer Röhren auf ein vernünftiges Maß herabgesetzt werden. Das Verhältnis S/C ist deshalb, wie man sieht, von ausschlaggebender Bedeutung.

Die maximale Verstärkung, die man mit einer Verstärkerstufe bei gegebener Röhrensteilheit S, gegebener höchster Kreisfrequenz ω_{max} und gegebener schädlicher Parallelkapazität C_p erzielen kann, berechnet sich zu

$$V_{max} = \frac{S}{C_p \cdot \omega_{max}} \cdot \sqrt{p^2 - 1} \quad [-] \qquad (11)$$

Bei der Frequenz ω_{max} ist die Verstärkung auf den Wert 1/p abgesunken. Je größer man also p wählt, um so kleiner wird die Verstärkung. Bei zwei kapazitätsgekoppelten Stufen muß natürlich der kapazitive Widerstand des Koppelkondensators noch klein gegenüber dem Gitterableitwiderstand der folgenden Stufe für die tiefste noch zu übertragende Frequenz f_u sein. Diese untere Grenzfrequenz f_u läßt sich aus der Formel

$$f_u = \frac{1}{2\pi \cdot R_g \cdot C_k} \quad [Hz] \qquad (12)$$

berechnen. Hierin ist R_g im wesentlichen der Gitterableitwiderstand der folgenden Stufe, C_k der Wert des Koppelkondensators. Zur besseren Übersicht ist in Bild 56 eine Verstärkerstufe mit allen bisher erwähnten elektrischen Werten gezeichnet.

Von Bedeutung sind der ebenfalls in Bild 56 eingetragene Katodenkondensator C und der Katodenwiderstand R_k. Der Katodenkondensator ist für den Frequenzgang der Schaltung von großer Bedeutung. Es kommt keineswegs nur darauf an — wie man oft liest —, daß der kapazitive Widerstand von C klein gegenüber R_p sein muß, sondern die Steilheit der betreffenden Röhre spielt eine große Rolle. Je größer diese nämlich ist, um so größer sind bei gegebener Eingangswechselspannung auch der Katodenwechselstrom und damit die Restwechselspannung am Katodenwiderstand. Das bedeutet jedoch eine dementsprechend große Stromgegenkopplung. Steile Röhren

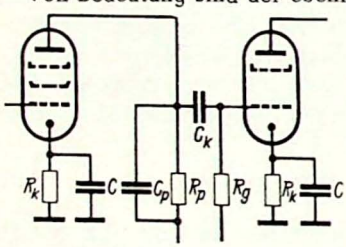


Bild 56: Grundschaltung einer Verstärkerstufe

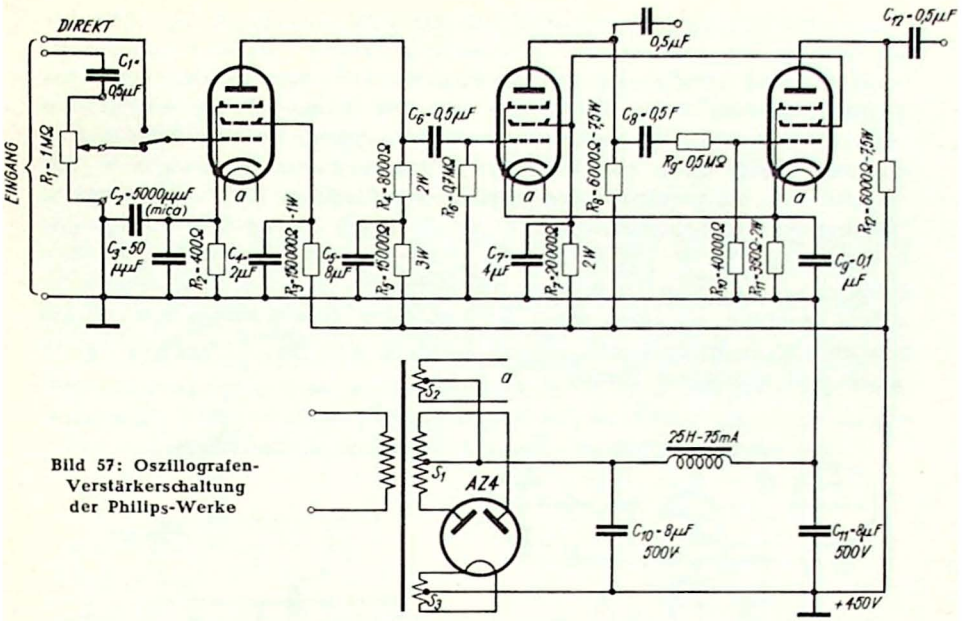


Bild 57: Oszillografen-Verstärkerschaltung der Philips-Werke

erfordern also besonders große Katodenkondensatoren. Läßt man bei der tiefsten Frequenz f_u einen durch die Gegenkopplung bedingten Verstärkungsabfall von 15 % zu, so muß der Katodenkondensator den Wert

$$C = \frac{\sqrt{32 \cdot R_k^2 \cdot S^2 - 1}}{2 \cdot \pi \cdot f_u \cdot R_k} \quad [F] \qquad (13)$$

haben. Der Katodenwiderstand R_k bestimmt sich natürlich aus den gleichstrommäßigen Daten der Röhre.

Die Berechnung des Phasengangs ist recht kompliziert und soll hier nicht näher erörtert werden. Wenn wir von Elektronenlaufzeiten absehen, so tritt grundsätzlich nur dann eine Laufzeit im Verstärker und damit eine Phasendrehung auf, wenn die Außenwiderstände für die betreffende Frequenz nicht mehr rein ohmisch sind, sondern als Impedanzen angesehen werden müssen. Ein Maß hierfür ist der Wert p in Gleichung (11), der angibt, um wieviel die Verstärkung bei der oberen Grenzfrequenz abgesunken ist. Es läßt sich zeigen, daß der Phasenwinkel den Wert

$$\varphi = \text{arc cos } 1/p \qquad (14)$$

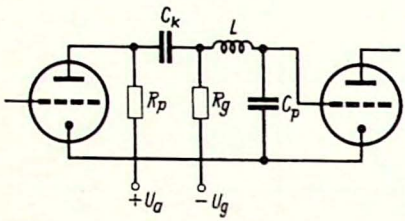
bei der oberen Grenzfrequenz f_0 und den Wert

$$\varphi' = \text{arc cos } 1/q \qquad (15)$$

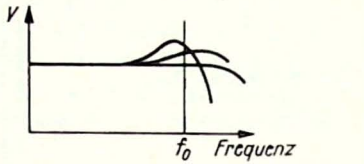
bei der unteren Grenzfrequenz f_u hat. In Gl. (15) bedeutet q den Verstärkungsabfall bei der unteren Grenzfrequenz. Die Phasenwinkel der einzelnen Stufen addieren sich.

Die oben kurz gebrachten wichtigsten Grundformeln mögen genügen, um den Weg zur richtigen Bemessung eines Oszillografenverstärkers anzudeuten.

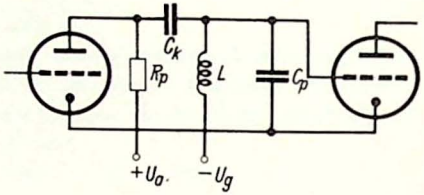
Ohne weiter auf die näheren Einzelheiten der Verstärkerberechnung einzugehen, bringen wir in Bild 57 eine von den Philips-Werken angegebene Verstärkerschaltung, die innerhalb eines Frequenzbandes von 10 Hz bis zu einigen 100 kHz linear verstärkt. Der Verstärkungsgrad ist etwa V = 1200 (bei 100 Hz), die maximale Ausgangsspannung beträgt 200 V. Am Eingang befindet sich ein Spannungsteiler für den Fall, daß die zugeführte Eingangsspannung zu groß ist. Der Teiler kann gegebenenfalls ausgeschaltet werden. Erwähnt sei, daß man für größere Ansprüche die Eingangs-Spannungsteiler anders ausbildet, vor allem, wenn der Verstärker impulsförmige Spannungen unverfälscht übertragen soll. Darauf kommen wir der Wichtigkeit halber später noch ausführlich zurück.



Oben Bild 58: Resonanzentzerrung bei der oberen Grenzfrequenz



Rechts oben Bild 59: Wirkung der Schaltung Bild 58



Rechts Bild 60. Resonanzentzerrung bei der unteren Grenzfrequenz

Wir erwähnten bereits, daß es Mittel gibt, um die obere oder auch untere Grenzfrequenz in einem Widerstandsverstärker durch resonanzfähige Organe anzuheben. Man spricht dann von Resonanzentzerrung. In Bild 58 ist eine Schaltung zur Anhebung der oberen Grenzfrequenz gezeigt. Die Spule L und die schädliche Kapazität geraten bei diesem Frequenzwert in Serienresonanz, so daß an C_p eine entsprechende Spannungsüberhöhung auftritt. Das ist in Bild 59 für verschieden große Werte von R_p dargestellt. Je kleiner R_p gemacht wird, um so größer ist die Dämpfung der Resonanzspitze.

Für die Anhebung der Verstärkung in der Nähe der unteren Grenzfrequenz kann man eine Schaltung nach Bild 60 vorsehen. Als Resonanzglied kommt die Reihenschaltung C_kL in Frage. Entspricht die Resonanzfrequenz der unteren Grenzfrequenz, so bildet sich an L eine entsprechende Spannungsüberhöhung. Es gibt noch viele andere Kompensationsschaltungen, die vor allem aus der Fernsehliteratur bekannt geworden sind (siehe Anhang).

V. Hilfsgeräte und Hilfseinrichtungen

Es gibt verschiedene Hilfsgeräte und Hilfseinrichtungen, die sich in der oszillografischen Praxis bewährt haben. Die wichtigsten davon sollen nachstehend beschrieben werden.

1. Synchronisier-Zusatzschaltungen

In manchen modernen Elektronenröhren-Kippschaltungen werden die Synchronisierimpulse nicht unmittelbar dem Steuergitter, sondern dem Schirmgitter der Entlade- oder Laderöhre zugeführt, das einen wesentlich größeren Durchgriff besitzt. Die Synchronisierspannung muß daher relativ groß sein. In solchen Fällen und auch noch aus anderen Gründen empfiehlt sich die Vorschaltung eines Synchronisierverstärkers. Er kann aus einer einfachen einstufigen Röhrenschaltung bestehen, die in passender Form zwischen die Meßspannung und die Synchronisierklemmen geschaltet wird.

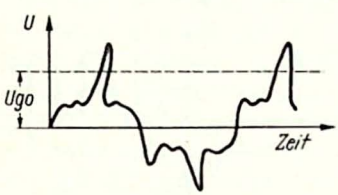


Bild 61: Meßspannung mit starken Spitzen

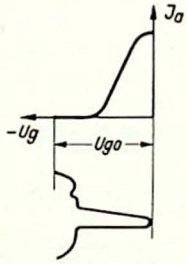


Bild 63: Arbeitsweise der Schaltung Bild 62

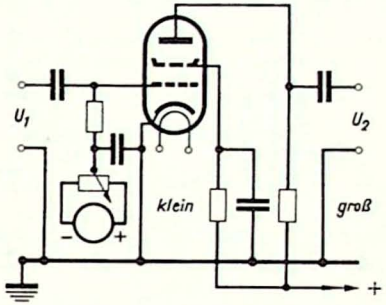


Bild 62: Schaltung zur Erzeugung konstanter Synchronisierimpulse

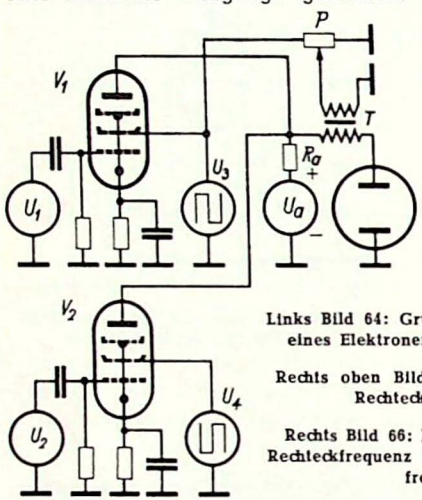
Eine nicht unbedingt erforderliche, aber mitunter recht zweckmäßige und wenig bekannte Anordnung für besonders große Ansprüche an die Konstanz der Synchronisierung ist ein sog. Amplitudensieb, das in der Fernsehtechnik zur Abtrennung der Synchronisiersignale vom Bildinhalt dient. In der Oszillografentechnik hat es jedoch nur dann einen Zweck, wenn Kurvenformen mit starken Spitzen, etwa nach Bild 61, auftreten. Man erhält dann eine einwandfreie Synchronisierung, unabhängig vom Kurvenverlauf des sonstigen Oszillogramms, indem man nur diese Spitzen heraussiebt und den Synchronisierklemmen zuführt. Bild 62 zeigt die entsprechende Schaltung, Bild 63 deren Wirkungsweise. Das Steuergitter einer Schirmgitterröhre erhält eine

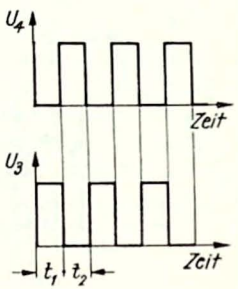
so hohe negative Vorspannung $-U_{g0}$, daß nur die Spitzen der Eingangsspannung U_1 (in Bild 61) einen Anodenstrom hervorrufen. Erteilt man dem Schirmgitter der Tetrode einen gegenüber der Anodenspannung großen Spannungswert, so stellt sich ein aus Bild 63 ersichtlicher Kurvenverlauf ein, der die Spitzen zusätzlich nach oben begrenzt. An den Ausgangsklemmen der Schaltung nach Bild 62 erhält man demnach konstante Synchronisierimpulse U_2, die den Gleichlaufklemmen des Oszillografen zugeführt werden und eine sehr stabile Synchronisierung ermöglichen.

Die Auslösung einmaliger Vorgänge und die Technik der zusätzlichen Zeitdehnung bei der Untersuchung impulsförmiger Vorgänge mit großem Tastverhältnis („Zeitbasis-Mikroskop") werden bei den fernsehtechnischen Anwendungen besprochen.

2. Elektronenröhrenschalter

Es gibt zwar Katodenstrahlröhren mit zwei oder mehreren in einem Glaskolben befindlichen Systemen, die das gleichzeitige Oszillografieren zweier oder mehrerer Vorgänge gestatten. Solche Röhren stehen jedoch nicht

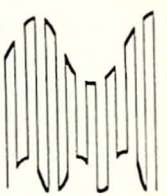




Links Bild 64: Grundsätzliche Schaltung eines Elektronenröhrenschalters

Rechts oben Bild 65: Phasenlage der Rechteckspannungen

Rechts Bild 66: Doppeloszillogramm, Rechteckfrequenz größer als Vorgangsfrequenz



immer zur Verfügung. Man hat daher Geräte konstruiert, die das schnelle Verschieben des Katodenstrahls von der oberen in die untere Hälfte des Leuchtschirms oder auch in beliebig viele Mittellagen gestatten. Gleichzeitig wird jeder Stellung des Elektronenstrahls ein bestimmter Vorgang zugeordnet. Geht die Umschaltung genügend schnell vor sich, so entstehen für das Auge nebeneinander oder untereinander geschriebene Bilder, obwohl diese Oszillogramme nacheinander entstehen.

Zur Veranschaulichung des Verfahrens betrachten wir Bild 64. Am Steuergitter der Röhre V_1 soll die erste Meßspannung U_1, am Steuergitter der

Röhre V_2 die zweite Meßspannung U_2 liegen. Beide Röhren haben einen gemeinsamen Anodenaußenwiderstand R_a. Am Schirmgitter einer jeden Röhre liegt je ein Generator für Rechteckspannungen, die um 180° phasenverschoben sind und demnach einen Verlauf nach Bild 65 aufweisen. Ihre Frequenz sei groß gegenüber der Vorgangsfrequenz. Die Rechteckamplituden sollen der normalen Schirmgitter-Betriebsspannung der beiden Röhren entsprechen. Dann wird während der Zeit t_1 nur die Röhre V_1, während der Zeit t_2 dagegen nur die Röhre V_2 in Tätigkeit sein. Infolgedessen wird während der Zeit t_1 ein kleines Stück des Vorgangs mit der Spannung U_1, während der Zeit t_2 dagegen ein ebensolches Stückchen des Vorgangs mit der Spannung U_2 geschrieben. Wenn man nun noch dafür sorgt, daß die eine Rechteckspannung den Elektronenstrahl auf dem Leuchtschirm zusätzlich nach oben oder nach unten bewegt, so werden die beiden Bilder nicht ineinander, sondern übereinander geschrieben. Das Einfügen der Rechteckspannung in den Ablenkplattenkreis kann z. B. mit Hilfe eines Transformators T erfolgen, an dessen Primärseite die über ein Potentiometer P veränderliche Rechteckspannung U_3 liegt. Der Transformator muß natürlich so bemessen werden, daß er die Kurvenform der Rechteckspannung nicht unzulässig verzerrt. Da die Herstellung eines solchen Transformators nicht einfach ist, verwendet man in solchen Schaltungen noch eine weitere Röhre, deren Anodenaußenwiderstand an Stelle der Sekundärseite des Transformators in den Ablenkkreis geschaltet wird. Das ist nur eine Möglichkeit; es sind die verschiedensten Variationen denkbar. Mit dem Potentiometer P kann man die beiden Einzelbilder beliebig weit voneinander entfernen oder zusammenschieben [A 18]. Ist — wie im angenommenen Fall — die Vorgangsfrequenz klein gegenüber der Frequenz der Rechteckspannungen, so wird jedes Oszillogramm nach Bild 66 aus kleinen Stückchen aufgebaut. Die Teilchen müssen so klein sein, daß sie vom Auge nicht mehr wahrgenommen werden, daß also ein scheinbar in sich geschlossener Kurvenzug zustande kommt. Das hierzu nötige Frequenzverhältnis f_1/f_3 bzw. f_2/f_4 (die Indices entsprechen den Indices der zugehörigen Spannungen) ist bis zu einem gewissen Grade eine Funktion der Nachleuchtzeit des Oszillografenschirms. Im allgemeinen genügen Verhältnisse von etwa 1:200.

Man kann auch den umgekehrten Weg gehen und die Vorgangsfrequenz groß gegen die Umschaltfrequenz machen; dann wird stets eine dem Frequenzverhältnis entsprechende Periodenzahl der einen oder der anderen Vorgangsfrequenz auf den Schirm geschrieben, so daß unter allen Umständen ein lückenloses Bild entsteht. Die Rechteckfrequenz ist nach unten durch die Augenträgheit begrenzt, d. h. sie muß mindestens 16, besser jedoch 25 oder 50 Hz betragen. Nach oben ist die Rechteckfrequenz durch die Höhe der Vorgangsfrequenz festgelegt.

Wie schon erwähnt, sind viele Schaltungsvariationen denkbar. So kann

man z. B. die Ablenkung des Elektronenstrahls durch die Rechteckspannung auch magnetisch vornehmen und bekommt dann eine völlige elektrische Trennung der beiden Ablenkkomponenten.

Die beiden Rechteckgeneratoren müssen natürlich miteinander synchronisiert sein, damit stets eine starre Phasenlage von 180° gewährleistet ist. Sind die beiden Vorgangsfrequenzen gleich groß und synchron, so stehen beide Teilbilder vollkommen still, wenn das Kippgerät mit der Vorgangsfrequenz synchronisiert ist. Das gilt auch, wenn die Frequenzen verschieden groß, jedoch miteinander synchron sind. Liegt kein Synchronismus vor, so kann natürlich nur ein Vorgang mit der Kippfrequenz synchronisiert, also zum Stillstand gebracht werden. Das andere Bild bewegt sich dann über den Leuchtschirm hinweg. Gegebenenfalls müssen daher zwei getrennte Kippgeräte vorgesehen werden, die jeweils mit der zugehörigen Vorgangsfrequenz zu synchronisieren sind. Die Kippspannungen sind dann ebenso durch Elektronenröhren umzuschalten wie die Meßspannungen selbst, was natürlich zu komplizierten Einrichtungen führt. Sie kommen jedoch nur in Sonderfällen in Betracht, so daß wir uns mit diesem Hinweis begnügen wollen. Man wird dann nach Kunst- und Kombinationsschaltungen greifen, um die Röhrenzahl und den sonstigen Schaltungsaufwand kleinzuhalten.

Es sei noch erwähnt, daß man auch mehrere Vorgänge (etwa bis zu sechs) mit Elektronenröhrenschaltern schreiben kann.

3. Spannungsteiler

Spannungsteiler werden zum Teilen der zu oszillografierenden Spannung, aber auch zum Teilen von Kippspannungen in der oszillografischen Technik benötigt. Es treten beim Aufbau brauchbarer Spannungsteiler keineswegs neue Gesichtspunkte auf, sondern es müssen lediglich die Regeln beachtet werden, die für die Bewältigung der meist großen Frequenzbereiche maßgebend sind.

Die wichtigste Forderung erstreckt sich auf eine frequenzunabhängige Spannungsteilung. Das kann man durch Anordnungen erreichen, die entweder in dem in Frage kommenden Frequenzbereich rein ohmisch, rein kapazitiv oder rein induktiv sind. Ferner soll der Spannungsteiler die Stromquelle, deren Innenwiderstand meist groß ist (z. B. Kippgenerator ohne Verstärker), bei hohen Frequenzen nicht unzulässig belasten. Glücklicherweise wird die abgegriffene Zeitspannung meist den Ablenkplatten zugeführt, so daß der Querwiderstand des Teilers wohl in den meisten Fällen groß genug bemessen werden kann.

Die Herstellung rein ohmscher Spannungsteiler für große Frequenzbereiche ist, wie z. B. die Technik der Meßsender lehrt, nicht einfach. Am zweckmäßigsten sind kapazitätsfreie Massewiderstände, gegebenenfalls auch dünne Drähte. Bei großen Spannungsteilerverhältnissen müssen sorgfältige

Abschirmungen vorgenommen werden, um kapazitive Kopplungen zwischen Stellen verschiedenen Potentials zu vermeiden. Die Widerstände müssen möglichst wenig Eigeninduktivität und Eigenkapazität haben. Wegen der Blindkomponenten ist der ohmsche Widerstand des Teilers nach oben natürlich beschränkt.

Ohmsche Spannungsteiler kommen gewöhnlich nur im Niederfrequenzgebiet in Frage. Für Hochfrequenz sind kapazitive Anordnungen wesentlich besser geeignet. Man verwendet am besten keramische Kondensatoren oder auch kleine Luft-Drehkondensatoren, wobei auf kleinste Zuleitungsinduktivität und geringste Wirkverluste zu achten ist. Auch bei diesen Teilern müssen gegebenenfalls Abschirmungen vorgesehen werden.

Induktive Spannungsteiler kommen nur in Sonderfällen in Frage. Dagegen hat sich besonders in modernen Impulsoszillografen der „kompensierte" Eingangsspannungsteiler einführen können; die Spannungsteilerverhältnisse werden stufenweise in Dekaden umgeschaltet, die Feinregelung erfolgt durch variable Katodenwiderstände in der Vorstufe. Man wählt im Eingangskreis relativ große ohmsche Widerstände und kompensiert die sich dann wegen der natürlichen Kapazitäten ergebende Frequenzabhängigkeit durch Zusatzkondensatoren. Auf diese interessante Technik kommen wir im 4. Kapitel nochmals zurück. Es sei schon hier erwähnt, daß die Kompensation in jeder Stufe des Spannungsteilers gesondert erfolgt, was z. B. mit Trimmern möglich ist.

4. Energiewandler

Energiewandler kommen in Betracht, wenn nichtelektrische Vorgänge oszillografiert werden sollen. Das sind vor allem Schallschwingungen, mechanische Druckänderungen, Volumenänderungen, Längenänderungen, Lichtschwankungen und ähnliche Erscheinungen. Die entsprechenden Vorgänge, die gewöhnlich zeitlich veränderlich sind, müssen in elektrische Spannungs- oder Stromschwankungen umgesetzt werden, deren Kurvenform mit der des ursprünglichen Vorgangs genau übereinstimmt.

Zur Umwandlung von Schall- und Druckänderungen kommen Mikrofone, für Volumen- und Längenänderungen vor allem Dehnungs-Meßstreifen und für Lichtschwankungen Fotozellen in Betracht[15a]). Zur Aufnahme rein mechanischer Schwingungen werden übrigens auch Tonabnehmer verwendet, deren Frequenzgang natürlich bis zu sehr tiefen Frequenzen herabreichen muß. Man setzt die Spitze des Tonabnehmers auf den betreffenden mechanisch bewegten Körper, wobei darauf geachtet werden muß, daß die mechanische Trägheit der Tonabnehmermasse so groß ist, daß die Eigenfrequenz des Systems weit unterhalb der Meßfrequenz liegt. Das ist mitunter nur mit sehr schweren Tonabnehmern zu erreichen.

[15a]) In diesem Zusammenhang sei auf die Philips-Zeitschrift „Industrie-Elektronik" verwiesen, die sich diesen Problemen sehr gründlich widmet. Auch in den Zeitschriften „Elektronik" und „Elektronische Rundschau" werden diese Fragen behandelt.

Mechanische Schwingungen können ebenso wie Längen- oder Volumenänderungen sehr genau gemessen werden, wenn man die entsprechenden Schwankungen in Kapazitätsänderungen transformiert. Hierzu werden z. B. kleine Einplattenkondensatoren verwendet, die so angeordnet sind, daß sich der Abstand ihrer Belege im Rhythmus des Vorgangs ändert. Besonders weit entwickelt ist heute auch die Technik der Dehnungs-Meßstreifen, bei denen die Änderung des ohmschen Widerstandes papierartiger Spezialstreifen ausgenützt wird. Die relativ geringe Trägheit dieser Systeme erlaubt auch die Untersuchung schneller Vorgänge.

Die Anwendung von Mikrofonen bietet grundsätzlich nichts Neues. Es werden zweckmäßigerweise nur hochwertige Ausführungen verwendet, die auch noch für tiefe Frequenzen genügend empfindlich sind. Die Industrie hat für diesen Zweck Spezialkonstruktionen („Zug- und Druckgeber") geschaffen, auf die wir hier jedoch nicht weiter eingehen können. Die in Betracht kommenden Lieferfirmen geben darüber nähere Auskunft.

Zur Umsetzung von Lichtschwankungen in elektrische Spannungen kommen nur Hochvakuum-Fotozellen, gegebenenfalls auch noch gasgefüllte Zellen, weniger dagegen Sperrschicht- oder Selenzellen in Betracht. Beim Aufbau von Fotozellenverstärkern muß darauf geachtet werden, daß der Eingang sehr hochohmig ist. Deshalb muß man die Eingangsleitung sorgfältig abschirmen oder einen mit der Zelle zusammengebauten Katodenverstärker verwenden, der die Eingangsimpulse auf so kleine Werte transformiert, daß längere Kabel möglich sind.

5. Zeitmarkengeräte

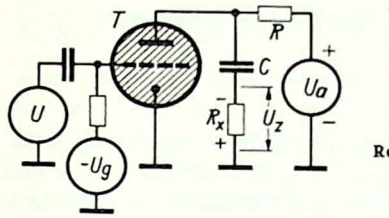
In vielen Fällen ist es erforderlich, die zu dem Oszillogramm gehörenden Zeitintervalle zu kennzeichnen. Das geschieht durch das gleichzeitige Erzeugen von sichtbaren Marken auf dem Oszillogramm, deren Abstände gleich großen und genau bekannten Zeiten entsprechen.

An sich ist die Kippspannung, wenn sie wirklich linear ansteigt, bereits ein genauer Zeitmaßstab. Indessen ist die absolute Zeitproportionalität bei den meisten Oszillografen nicht gewährleistet, und die genaue Frequenz der Kippschwingung kann bei den handelsüblichen Geräten nur näherungsweise, nicht jedoch genau bestimmt werden. Man sieht daher von der Verwendung der Kippschwingung als Zeitmaßstab gewöhnlich ab.

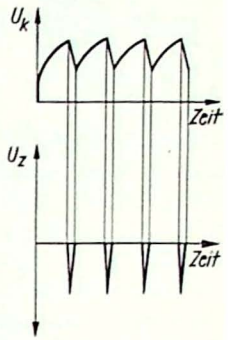
Am einfachsten liegen die Dinge, wenn ein periodischer Vorgang oszillografiert wird, dessen Grundfrequenz genau bekannt ist. Man kann dann durch Abmessen von in gleichförmigen Abständen wiederkehrenden markanten Oszillogrammstellen einen eindeutigen Zeitmaßstab schaffen. Das wird jedoch in vielen Fällen nicht möglich, zumindest ziemlich umständlich sein. Deshalb greift man gern zu zusätzlichen Maßnahmen.

Hat man eine Oszillografenröhre mit zwei getrennten Systemen zur Verfügung, so gibt man auf das eine System den zu oszillografierenden Vor-

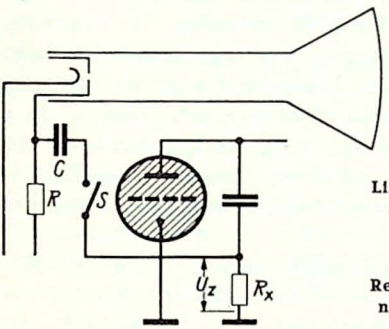
gang, auf das zweite dagegen eine in ihrer Frequenz genau bekannte Sinusspannung. Die Maxima der Sinuskurve liefern dann genaue Zeitmarken [A 19]. Soll die Zeitmarkierung sehr scharf werden, so steuert man mit Hilfe der Sinusspannung einen Impulsgenerator und bildet die Impulse mit dem zweiten System auf dem Leuchtschirm ab. Eine empfehlenswerte Schaltung, die sehr kurze und scharf begrenzte Impulse liefert, ist in Bild 67 dar-



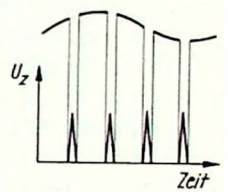
Links Bild 67: Schaltung eines Zeitmarkengebers



Rechts Bild 68: Wirkungsweise des Impulsgebers



Links Bild 69: Zeitmarkierung durch Helligkeitssteuerung



Rechts Bild 70: Durch Wehnelt-Zylindersteuerung erhaltene Zeitmarkierung

gestellt. Es handelt sich an sich um eine normale Kippschaltung mit dem Thyratron T, dem Kippkondensator C, dem ohmschen Aufladewiderstand R und der Anodenspannung U_a. Eine in der Frequenz genau bekannte Sinusspannung U synchronisiert das Thyratron, wobei das Frequenzverhältnis in weiten Grenzen beliebig gewählt werden kann. Der starke Entladestrom des Kondensators durchfließt den Widerstand R_x (Größenordnung etwa 1000 Ω) und ruft an ihm einen impulsförmigen, sehr ausgeprägten und definiert einsetzenden Spannungsstoß U_z hervor. In Bild 68 sind die zeitlichen Zusammenhänge zwischen Kippspannung und Impulsspannung dargestellt [A 20].

Hat man nur eine gewöhnliche Oszillografenröhre zur Verfügung, so muß man natürlich zu einer Strahlumschaltung nach Abs. 2 greifen. Dann wird allerdings der apparative Aufwand so groß, daß er nur in seltenen Fällen gerechtfertigt ist. Man wird daher besser überlegen, ob man nicht mit einer Strahlausblendung im Rhythmus der Frequenz des Zeitmarkengebers auf einfachere Weise zum Ziel kommt. Das wird sehr häufig möglich sein.

In Bild 69 ist die erforderliche Schaltung dargestellt. In der Leitung zum Wehneltzylinder der Braunschen Röhre liegt ein Widerstand R, dessen oberes Ende über einen Kondensator C mit dem Widerstand R_x des Thyratrons T (siehe Bild 67) verbunden ist. Bei richtiger Einstellung des Verhält-

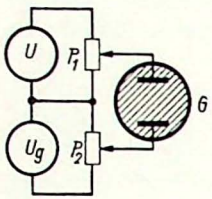


Bild 71: Schaltung für Glimmlampe als Zeitmarkengeber

nisses zwischen Impulsspannung und Wehneltzylindervorspannung erhält man im Oszillogramm eine sehr saubere und scharf umrissene Strahlausblendung, die gewissermaßen der Projektion des Zeitimpulses entspricht. In Bild 70 ist das Aussehen eines derart markierten Oszillogramms dargestellt [A 21]. Nachteilig ist die je nach der betreffenden Oszillogrammsteilheit unterschiedliche Länge der Lichtmarken, was jedoch insofern keine Rolle spielt, als man immer den Anfang oder das Ende der Ausblendung als Zeitmarke verwendet. Man sieht zweckmäßigerweise einen Schalter (S in Bild 69) vor, mit dem man die Zeitmarkierung unterbrechen kann, so daß jederzeit eine ungestörte Betrachtung des Leuchtschirmbildes möglich ist.

Wird ein Vorgang ohne elektrische Zeitablenkung fotografisch registriert, indem sich ein lichtempfindlicher Registrierstreifen in Richtung senkrecht zur vertikalen Oszillogrammausdehnung mit gleichförmiger Geschwindigkeit vorbeibewegt, so kann eine Zeitmarkierung einfach durch die gleichzeitige fotografische Aufnahme einer Glimmlampe erfolgen. Man befestigt sie vor dem Leuchtschirm und sieht eine Schaltung nach Bild 71 vor. Sie enthält eine Wechselspannung U mit der gewünschten Zeitmarkenfrequenz und eine Gleichspannung U_g. Mit Hilfe der beiden Potentiometer P_1 und P_2 kann das Verhältnis der Spannungen U und U_g so eingestellt werden, daß die Glimmlampe G immer nur während der positiven Amplitude von U, also ganz kurzzeitig, zündet. Auf dem Registrierpapier zeigen sich dann dementsprechend kurze Zeitmarken in regelmäßigen Abständen [A 22].

Wenn man schon zu einer genauen Zeitmarkierung greift und den damit verbundenen Aufwand in Kauf nimmt, so sollte man auch den Steuergenerator des Zeitmarkengebers so frequenzkonstant ausgestalten, daß eine wirklich genaue Zeitmarkierung erfolgt. Da es sich um Erzeuger von Sinusschwingungen handelt, stehen alle Möglichkeiten für die Herstellung einer stabilen Frequenz offen. Erwähnt sei auch die Möglichkeit, durch den steilen Rücklauf der Kippspannung einen in seiner Frequenz bekannten (und evtl. veränderlichen) LC-Kreis anzustoßen und die Schwingungen dem Oszillogramm zu überlagern, wodurch automatisch Synchronismus gewährleistet ist.

Zweites Kapitel

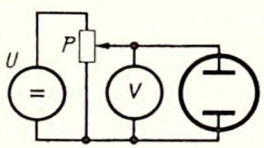
Arbeitsrichtlinien für die Oszillografenpraxis

I. Vorschriften für das oszillografische Arbeiten

Beim Umgang mit Katodenstrahloszillografen gibt es einige immer wiederkehrende Gesichtspunkte, die beachtet werden müssen. Es empfiehlt sich daher, die in den nachstehenden Zeilen zusammengefaßten Richtlinien stets genau einzuhalten. Wir setzen dabei das Vorhandensein eines betriebsfertigen Oszillografen oder einer Oszillografenröhre in freiem Aufbau voraus.

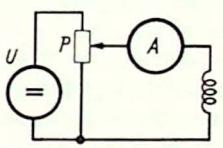
1. Bestimmung der Grunddaten

Zu den Grunddaten eines Oszillografen gehört die bereits auf Seite 14 definierte Ablenkempfindlichkeit. Man bestimmt sie für einen Oszillografen ein für allemal durch eine möglichst sorgfältige Messung, und zwar für jede Anodenspannung besonders, falls der Oszillograf über eine entsprechende Umschaltvorrichtung verfügt. Die erforderliche Meßschaltung für die Bestimmung der elektrischen Ablenkempfindlichkeit ist in Bild 72



Links Bild 72: Schaltung zur Bestimmung der elektrischen Ablenkempfindlichkeit

Rechts Bild 73: Schaltung zur Bestimmung der magnetischen Ablenkempfindlichkeit



dargestellt. Man greift die Gleichspannung U an einem Potentiometer P ab und mißt den eingestellten Betrag mit einem Voltmeter V beliebigen Eigenverbrauchs. Unter dem Einfluß der Spannung wird der Leuchtfleck auf dem Schirm in vertikaler bzw. horizontaler Richtung um einen bestimmten Betrag a verschoben [A 23]. Man wählt eine solche Spannung, daß die Ablenkung mit einem Maßstab gut ermittelt werden kann. Die Ablenkempfindlichkeit ergibt sich dann aus dem Quotienten der gemessenen Strecke und der am Voltmeter abgelesenen Spannung. Ist die Oszillografenröhre in ihren Eigenschaften unbekannt, so empfiehlt sich die Aufnahme einer Eichkurve, indem man die beschriebene Messung für verschiedene Spannungen punktweise wiederholt und die Werte abhängig voneinander in einer Kurve aufträgt. Analoges gilt für den Ablenkfaktor.

Die Messung der magnetischen Ablenkempfindlichkeit erfolgt in der Weise, daß man sich zunächst über die verwendete Ablenkspule Klarheit

verschafft. Die Windungszahl muß genau bekannt sein; bei selbstgebauten Spulen liegt sie ohnehin fest. Man ordnet nun die Spule möglichst unverrückbar an der durch Versuche festzustellenden günstigsten Stelle des Röhrenhalses an und bestimmt die magnetische Ablenkempfindlichkeit unter Zugrundelegung einer Schaltung nach Bild 73. Mit Hilfe des Potentiometers P wird ein bestimmter Strom eingestellt, der eine gut meßbare Ablenkung des Leuchtflecks hervorruft. Die Empfindlichkeit ergibt sich dann durch Division der Strahlablenkung durch das Produkt aus Strom und Windungszahl. Man kann die Empfindlichkeit auch statt in mm/AW in mm/A angeben, wenn stets dieselbe Spule verwendet wird. Vorteilhaft ist es übrigens, die Eigenresonanz der Spule durch eine Messung mit Meßsender und Röhrenvoltmeter zu ermitteln, damit man weiß, welche Ablenkfrequenz nicht überschritten werden darf. — Enthält der Oszillograf Meßverstärker, so mißt man zweckmäßigerweise auch die Ablenkempfindlichkeiten bei eingeschaltetem Verstärker, die natürlich wesentlich höher liegen.

Die Werte der K i p p f r e q u e n z können durch einen einfachen Vergleich mit einem frequenzgeeichten Tongenerator ermittelt werden. Eine genaue Eichkurve aufzunehmen, ist ziemlich zwecklos, weil die Frequenz insbesondere bei nichtstabilisierten Netzgeräten erheblich schwanken kann und auch von der Kippamplitude abhängt.

Die maximale S c h r e i b g e s c h w i n d i g k e i t braucht bei Röhren mit bekannten Daten meist nicht besonders ermittelt zu werden. Trotzdem empfehlen sich einige fotografische Vorversuche, wovon noch auf Seite 71 die Rede sein wird.

Es folgt die Ermittlung der E i n g a n g s i m p e d a n z. Diese Größe ist von entscheidender Bedeutung für eine möglichst universelle Anwendbarkeit des Oszillografen. Die namhaften Oszillografen-Herstellerfirmen haben diesem Wert in letzter Zeit besondere Beachtung geschenkt und in dieser Hinsicht recht beachtliche Fortschritte erzielt, was von allen Technikern sehr begrüßt worden ist. Die Impedanz besteht zunächst aus einem kapazitiven Blindwiderstand, der der Kapazität zwischen den beiden Ablenkplatten samt Zuleitungen, eventuell auch der Kapazität einer Platte einschließlich abgeschirmter Zuleitungen gegen den Nullpunkt entspricht. Vorteilhafterweise wird man als frequenzunabhängige Größe die entsprechenden Kapazitätswerte angeben. Die zweite Komponente der Eingangsimpedanz ist der Wirkwiderstand zwischen den Platten bzw. einer Platte und dem Spannungsnullpunkt. Er besteht in erster Linie aus den Ableitwiderständen der Platten bzw. des Meßverstärkers.

Selbstverständlich soll die Eingangskapazität möglichst klein, der Eingangswiderstand dagegen möglichst groß sein. Es ist mit den heutigen zur Verfügung stehenden Schaltorganen und unter Benützung der modernen schaltungstechnischen Möglichkeiten nicht allzu schwer, dieser Forderung

zu entsprechen, insbesondere da meistens Meßverstärker mit kompensiertem Eingangsspannungsteiler verwendet werden. Außerdem gibt es insbesondere für Hf-Untersuchungen „Meßköpfe", die im wesentlichen einen kapazitätsarmen Germaniumgleichrichter oder eine Diode enthalten. Gemessen bzw. oszillografiert wird dann die demodulierte Spannung, die ohne weiteres mit einer größeren schädlichen Kapazität belastet werden kann.

Der reelle Eingangswiderstand kann im normalen Frequenzgebiet bei Hochvakuumröhren sehr groß gehalten werden. Es wäre zu wünschen, daß sich alle Hersteller von Katodenstrahloszillografen eines Tages entschließen, durch eine einfache Umschalteinrichtung die Meßplatten und wenn möglich auch die Zeitplatten über kürzeste kapazitätsarme Leitungen und ohne Ableitwiderstände an besondere Klemmen zu führen. Bei manchen Fabrikaten ist das erfreulicherweise der Fall. Der Anwendungsbereich des Oszillografen wird dadurch erheblich ausgedehnt.

Ebenso wie die Ablenkempfindlichkeit wird man auch die Eingangsimpedanz, getrennt nach Blind- und Wirkanteil, gut leserlich an einer geeigneten Stelle des Oszillografen vermerken.

2. Einstellung und Bedienung

Nach dem Einschalten des Oszillografen und nach Ablauf der Anheizzeit wird man zunächst einen sauberen und scharfen Leuchtfleck einstellen. Das geschieht bei ausgeschalteter Zeitablenkung durch sorgfältiges Einstellen sowohl der Linsen- als auch der Wehneltzylinderspannung. Man stellt zunächst eine ziemlich kleine Helligkeit ein und reguliert dann die Linsenspannung bis zur optimalen Schärfe, eventuell unter gleichzeitigem Variieren der Helligkeit, nach. Diese soll nicht größer sein als unbedingt erforderlich, um den Leuchtschirm zu schonen. Auch soll der Punkt, wie schon früher erwähnt, nie an der gleichen Stelle stehen bleiben. Hat man also die richtige Fleckeinstellung gefunden, so schaltet man zweckmäßigerweise gleich die Zeitablenkung ein. Es sei ausdrücklich bemerkt, daß auch ein Leucht s t r i c h bei zu großer Helligkeit den Schirm angreifen kann. Das wirkt sich dann bei der Betrachtung von Oszillogrammen insofern ungünstig aus, als einzelne Oszillogrammteile dunkler erscheinen, weil die beschädigten Leuchtschirmstellen stark an Helligkeit eingebüßt haben.

Die Betrachtung des richtig eingestellten Leuchtflecks läßt übrigens gleich erkennen, ob der Katodenstrahl von störenden Wechsel-Fremdfeldern beeinflußt wird. In diesem Fall läßt sich kein runder Punkt, sondern nur ein mehr oder weniger langer Strich einstellen, dessen Länge der Amplitude der Störkomponente entspricht [A 24]. Manchmal kommen solche Striche allerdings auch durch ein unsauber zentriertes Elektrodensystem oder durch falsche Einstellung der Betriebsspannungen zustande. Um die beiden Mög-

lichkeiten zu unterscheiden, kann man — bei senkrechten Störstrichen — durch Einschalten des Kippgeräts sofort feststellen, worum es sich handelt. Ergibt sich bei jeder Kippfrequenz ein mehr oder weniger scharfer, jedoch absolut ruhiger Balken, so liegt ein elektronenoptischer Fehler vor. Wechselfelder dagegen liefern ein deutliches Oszillogramm in Form einer mehr oder weniger verzerrten Sinuskurve. Liegt der Störstrich annähernd waagerecht, so kann man durch schnelles Bewegen des Kopfes oder eines Spiegels in senkrechter Richtung beurteilen, um was für eine Art von Störung es sich handelt. Man sieht dann bei elektronenoptischen Fehlern einen ruhigen Strich, bei niederfrequenten Störfeldern dagegen eine Wellenlinie.

Um eine Störung durch Fremdfelder zu beseitigen, muß man zunächst die eigentliche Fehlerquelle ausfindig machen. Zu diesem Zweck verbindet man sämtliche freien Anschlüsse der Ablenkplatten mit dem Spannungsnullpunkt. Ist die Störung verschwunden, so liegt entweder eine (meist kapazitive) Einstreuung in die Zuleitungen oder aber eine zu große Brummspannung des Kippgeräts oder Meßverstärkers vor. Diese Erscheinungen treten natürlich bei fertigen Industriegeräten nur dann auf, wenn durch den Ausfall eines Beruhigungskondensators eine Unregelmäßigkeit entsteht. Dagegen sind derartige Störüberlagerungen bei Selbstbaugeräten oder provisorischen Anordnungen recht häufig und müssen durch zweckmäßige Abschirmung, bessere Siebung usw. beseitigt werden.

Verschwindet die Störung beim Anschluß aller Ablenkplatten an den Schaltungsnullpunkt nicht, so liegt entweder ein Fehler am Netzgerät des Oszillografen oder eine magnetische Einstreuung vor. Eine solche ist leicht zu ermitteln. Sie kann bei einwandfreien Industrieoszillografen nicht so leicht auftreten, weil der innere Aufbau meist so zweckmäßig ist, daß eine Einwirkung von Netztransformatoren oder Netzdrosseln auf die Röhre nicht in Betracht kommt. Auch sitzt die Oszillografenröhre meist in einer ferromagnetischen Abschirmung, so daß Fremdfeldeinflüsse unwirksam bleiben. Trotzdem empfiehlt sich eine Lageveränderung des Oszillografen. Ändert sich dabei irgendetwas an der Störung, so beeinflußt ein benachbartes anderes Gerät auf magnetischem Wege den Katodenstrahl. Man muß dann entweder den Abstand zwischen den Geräten entsprechend vergrößern oder eine andere gegenseitige Orientierung der Achsen vornehmen. Magnetische Einstreuungen sind insbesondere bei offen aufgebauten Oszillografenröhren oder Selbstbaugeräten sehr häufig. Bei fehlender magnetischer Abschirmung kann auch das Erdfeld erheblich stören, das den Strahl in einer bestimmten Richtung vorspannt, so daß der Leuchtfleck nie in der Mitte des Schirmes steht. Die Störung läßt sich durch einen zweckmäßig angebrachten Dauermagneten oder eine richtig gewählte Zusatzgleichspannung an beiden Ablenkplattenpaaren beseitigen. Der Standort des Oszillografen darf dann allerdings nicht mehr verändert werden, weil sonst eine neuerliche Korrektur

erforderlich wird. Deshalb ist es besser, die Röhre von vornherein durch einen hinreichend dicken Permalloy-Zylinder abzuschirmen, der die Kraftlinien des Erdfeldes unwirksam macht. Die Abschirmungen dürfen keineswegs remanenten Magnetismus aufweisen, weil man sonst eine magnetische Strahlvorspannung erhält.

Ist der Leuchtfleck trotz fehlender magnetischer Einstreuung immer noch nicht störungsfrei, so muß man den Fehler am Netzgerät des Oszillografen suchen. Abgesehen von unzureichender Siebung können angesichts der hohen Spannungen auch schlechte Isolationen oder Sprüherscheinungen für solche Störungen verantwortlich sein. Meistens hört man dann ein leises Knistern oder Rauschen im Innern des Netzgerätes. Auch Blockkondensatoren, die kurz vor dem Durchschlag stehen, sind oft die Ursache für solche Erscheinungen.

Ist der Leuchtfleck einwandfrei, so beobachtet man den durch die Kippspannung hervorgerufenen Leuchtstrich. Er muß an beiden Seiten scharf begrenzt sein. Ist das nicht der Fall, d. h. zeigen sich an den Enden etwas dunklere Verlängerungen, so ist die Kippspannung mit einer Störspannung, meist der Netzspannung, überlagert [A 25]. Man muß dann den Fehler im Kippgerät, gegebenenfalls im zugehörigen Verstärker, suchen.

Erst wenn das Gerät keine der beschriebenen Störungen zeigt, sollte man zur Darstellung von Oszillogrammen übergehen. Viele oft unerklärliche Erscheinungen in einem Leuchtschirmbild sind nämlich auf die genannten Fehler zurückzuführen und wirken außerordentlich störend.

Man versucht zunächst, ob die Meßspannung zur Aussteuerung des Leuchtschirms ohne Verstärker ausreicht. Diese Betriebsart ist unbedingt vorzuziehen, da auch der beste Verstärker Fehlerquellen besitzt, die man auf diese Weise umgeht. Man sollte daher nicht, wie man es oft sieht, den Verstärker grundsätzlich eingeschaltet lassen und bei hohen Eingangsspannungen den Regler entsprechend weit zurückdrehen.

Reicht die Amplitude der Meßspannung aus, so muß für eine einwandfreie Synchronisation gesorgt werden. Zu diesem Zweck stellt man zunächst annähernde Frequenzgleichheit durch entsprechendes Umschalten der Kippkondensatoren und Regulieren des Ladestroms ein. Erst dann führt man langsam die Synchronisierspannung dem Kippgerät durch Betätigen des betreffenden Regelgriffes zu. Man soll den Synchronisierzwang nicht größer wählen als unbedingt erforderlich, d. h. nur eine so große Synchronisierspannung anwenden, bis das Bild einwandfrei feststeht [A 26]. Ein Zuviel schadet insofern, als durch eine übermäßige Synchronisierspannung die Aufladung des Kippkondensators zu früh unterbrochen, d. h, die Entladung zu früh eingeleitet wird. Die Folge ist eine Verkleinerung der Kippamplitude, was durch ein Zusammendrängen des Oszillogramms in waagerechter Richtung zum Ausdruck kommt. Ferner wird die Kippkurve im letzten Teil ihres

Anstiegs unter Umständen verzerrt, was allerdings bei ganz modernen Oszillografen nicht möglich ist. Durch Spezialschaltungen wird hier — in weiten Grenzen von der Eigenspannung unabhängig — für stets gleiche Synchronisieramplituden gesorgt.

Zum Rücklauf müssen noch einige Worte gesagt werden. Liegt an den Meßplatten keine Spannung, so wird der Rücklauf in den meisten Fällen als schwache Linie etwas ober- oder unterhalb der Hinlauflinie zu sehen sein. Eigentlich dürfte der Rücklauf überhaupt nicht sichtbar, sondern müßte von dem wesentlich helleren Hinlauf verdeckt werden. Wenn das nicht ganz der Fall ist, so liegt eine, wenn auch nur sehr schwache, elektrische Kopplung zwischen den waagerechten und senkrechten Ablenkplatten vor, die sich natürlich insbesondere bei den im Rücklauf steckenden hohen Frequenzen bemerkbar macht [A 28]. Im allgemeinen stört das jedoch weiter nicht, weil der Rücklauf gegenüber dem Oszillogramm optisch fast stets in den Hintergrund tritt.

Man kann den Rücklauf in manchen Fällen nutzbringend verwerten. Will man z. B. eine besondere Stelle des Oszillogramms näher untersuchen, so muß man nur dafür sorgen, daß der betreffende Oszillogrammteil zeitlich in den Rücklauf fällt. Dann erscheint der Teilvorgang im Verhältnis der Zeiten des Hinlaufs zum Rücklauf gedehnt. Beträgt die Dauer des Rücklaufs z. B. 10 % der Dauer des Hinlaufs — ein üblicher Wert — so wird das Oszillogramm im Rücklauf auf den zehnfachen Wert gedehnt. Derselbe Vorgang, der sich im Hinlauf auf eine Strecke von z. B. 5 mm zusammendrängt, erscheint dann im Rücklauf mit einer Breite von 50 mm [A 29]. Selbstverständlich ist das sich so ergebende Leuchtschirmbild wesentlich dunkler, weil die Gesamtenergie des Strahls auf eine entsprechend größere Strecke verteilt wird. Das muß man ebenso wie eine gewisse Nichtlinearität der Rücklaufkurve in Kauf nehmen.

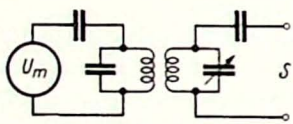


Bild 74: Phasenschieber zur Oszillogrammbeobachtung im Rücklauf

Um den näher zu untersuchenden Oszillogrammteil zeitlich in den Rücklauf verschieben zu können, muß man zwischen die Meß- bzw. Synchronisierspannung und das Kippgerät einen Phasenschieber schalten, der sich feinstufig regeln läßt. Dafür gibt es viele Schaltungen, von denen in Bild 74 eine Ausführung gezeigt ist. Wir sehen zwei induktiv gekoppelte Schwingungskreise, deren Resonanzfrequenz mit der Grundwelle der Meßspannung U_m übereinstimmt. Der erste Kreis wird von U_m erregt, der zweite Kreis liefert die Synchronisierspannung. Durch Verändern der Kapazität des zweiten Schwingungskreises erhält man eine negative oder positive Phasen-

verschiebung ausreichender Größe, je nachdem, ob man den zweiten Kreis unter- oder oberhalb der Resonanzfrequenz einstellt. Selbstverständlich sind auch Phasenschieber mit Blind- und Wirkwiderständen usw. möglich.

In manchen Fällen, besonders wenn die prozentuale Rücklaufzeit relativ lang ist, möchte man den Strahl während dieser Zeit dunkelsteuern. Das kann in einfacher Weise dadurch geschehen, daß man auf den Wehneltzylinder einen Impuls entsprechender Polarität, Phase und Dauer schaltet. Hierfür eignet sich grundsätzlich eine Anordnung nach Bild 67 bzw. 69, wobei das in Bild 67 dargestellte Kippgerät das eigene Zeitablenkgerät des Oszillografen ist. Unter Umständen muß der Impuls etwas verbreitert werden, was z. B. durch Parallelschalten eines Kondensators zu R_x geschehen kann. Der an diesem Widerstand auftretende Impuls besitzt sonst alle für die Ausblendung des Rücklaufs erforderlichen elektrischen Eigenschaften [A 30]. Diese kleine Hilfsschaltung, die kaum einen zusätzlichen Aufwand erfordert, ist heute bei fast allen Oszillografen der Industrie vorhanden.

Sehr wichtig für eine einwandfreie Synchronisierung ist übrigens, daß die den Synchronisierklemmen zugeführte Spannung tatsächlich nur die Vorgangsfrequenz und sonst keinerlei Fremdkomponenten enthält. Sehr häufig sind kleine Netzwechselspannungen der Synchronisierspannung überlagert. Das Kippgerät weiß dann nicht, welcher Spannung es folgen soll, und man erhält ein unruhiges Oszillogramm, das gern aus dem Synchronismus fällt. Ein typisches Merkmal ist auch eine nicht scharf begrenzte, sondern verschwommene Rücklauflinie, die im Rhythmus der Netzfrequenz vibriert [A 31]. Stellen sich diese Symptome ein, so muß man unter allen Umständen die Störfrequenz zu beseitigen versuchen. Abgesehen davon, daß bereits die visuelle Beobachtung eines unruhigen Leuchtschirmbildes erheblich gestört ist, wird eine fotografische Fixierung durch eine derartige Störung besonders bei längerer Belichtungszeit unmöglich gemacht. Ähnliche Erscheinungen treten auf, wenn in dem zu oszillografierenden Vorgang selbst verschiedene, annähernd gleichhohe Spitzen enthalten sind. Man muß dann versuchen, durch eine Röhrenschaltung die eine Spitze bevorzugt herauszusieben, um diese dann zur Synchronisierung heranzuziehen. Das ist manchmal nicht ganz einfach. Wie schon erwähnt, treten diese Schwierigkeiten in modernen Hochleistungsoszillografen aber nicht auf, weil die dort vorgesehenen Einrichtungen aus der Meßspannung automatisch eine einwandfreie Synchronisierspannung formen. Man muß jedoch grundsätzlich über die angedeuteten Störmöglichkeiten Bescheid wissen.

Werden alle bisher beschriebenen Maßnahmen beachtet, so wird man mit Sicherheit gute Oszillogramme erhalten. Daß die Meßverstärker nicht übersteuert werden dürfen, ist wohl eine Selbstverständlichkeit. Auch die schon auf Seite 17 behandelte Frage des symmetrischen bzw. unsymmetrischen Plattenanschlusses muß natürlich von Fall zu Fall sorgfältig geprüft werden.

3. Allgemeine Arbeitsrichtlinien

Es gibt verschiedene immer wiederkehrende Gesichtspunkte, die beim Arbeiten mit dem Katodenstrahloszillografen beachtet werden müssen. Die wichtigsten sollen nachstehend kurz erwähnt werden.

a) Die Verbindungsleitungen zwischen Meßobjekt und Oszillograf müssen so kurz wie möglich sein. Bei großem Innenwiderstand des Meßobjekts sind die Leitungen gegebenenfalls abzuschirmen. Das soll jedoch nur dann erfolgen, wenn es unbedingt nötig ist.

b) Zur Verriegelung von Gleichspannungen liegen zwischen Meßobjekt und Meßplatten gewöhnlich Kondensatoren. Man überzeuge sich besonders bei niederfrequenten Vorgängen stets davon, ob diese Kondensatoren eine ausreichend große Kapazität haben. Viele Verzerrungen und Fehlmessungen haben ihre Ursache in zu kleinen Verriegelungskondensatoren. In Zweifelsfällen überzeuge man sich durch Parallelschalten größerer Werte, ob sich das Oszillogramm hierdurch noch verändert.

c) Die Verriegelungskondensatoren müssen einen sehr hohen Isolationswiderstand haben, der auf jeden Fall groß gegenüber den Ableitwiderständen der Platten sein muß. Ist das nicht der Fall, so verschiebt sich das Schirmbild unter dem Einfluß der Gleichspannungskomponente des Meßobjekts nach Maßgabe der Spannungsteilung zwischen den Ableitwiderständen und dem Isolationswiderstand der Kondensatoren.

d) Man überzeuge sich bei älteren Oszillografen stets von der Leitungsführung zwischen den Meßplatten und den Anschlußklemmen im Innern des Gerätes. Haben diese Leitungen zu viel Eigenkapazität, so müssen sie abgeklemmt und die Meßplattenanschlüsse auf kürzestem Wege nach außen geführt werden.

e) Zwischen den Ablenkplatten und der Anode der Oszillografenröhre (Nullpunkt des Oszillografen) darf keine hohe zusätzliche Gleichspannung liegen. Die Folgen wären verschwommene Bilder, da die Strahlschärfe unter dem Einfluß des zusätzlichen Feldes zwischen der Anode und den Ablenkplatten stark zurückgeht.

f) Soll die Helligkeit des Strahls gesteuert werden, so beachte man die hohe Gleichspannung zwischen Wehneltzylinder und Schaltungsnullpunkt. Auch einwandfreie Trennkondensatoren können stören, wenn sich ihre Ladung plötzlich über ein empfindliches Meßobjekt ausgleicht.

g) Bei Oszillografen mit wählbaren Anodenspannungen arbeitet man zweckmäßigerweise stets mit dem kleinsten Wert, der gerade noch ausreichende Helligkeit und Schärfe gewährleistet. Dadurch schont man die Röhre und vergrößert die Ablenkempfindlichkeit.

Soll der Oszillograf zur Untersuchung höchstfrequenter Vorgänge dienen, so müssen besondere Vorsichtsmaßregeln beachtet werden. Längere Zuleitungen zu den Ablenkplatten dürfen überhaupt nicht vorhanden sein.

Bei sehr kurzen Wellen ist es vorteilhaft, wenn die Meßplatten den letzten Teil eines Lechersystems bilden, so daß der Spannungsbauch unmittelbar an den Platten liegt. In solchen Fällen müssen die Anschlüsse der Ablenkplatten direkt durch den Röhrenhals nach außen geführt sein. Röhren, bei denen die Zuleitungen durch den Röhrenfuß gehen und mit Sockelanschlüssen in Verbindung stehen, sind für diesen Zweck unbrauchbar. Es gibt Spezialröhren, bei deren Konstruktion auf diese Gegebenheiten besonders Rücksicht genommen worden ist.

Nicht alle Röhren mit seitlich herausgeführten Ablenkplatten sind für Kurz- und Ultrakurzwellen brauchbar. Röhren mit Gasfüllung scheiden von vornherein aus. Aber auch ausgesprochene Hochvakuumröhren versagen oberhalb einer bestimmten Frequenz, nämlich dann, wenn die Elektronenlaufzeit gegenüber einer Periode der Ablenkfrequenz nicht mehr zu vernachlässigen ist. Das äußert sich durch einen unscharfen Strahl und durch Oszillogrammverzerrungen. Über diese Fragen sind verschiedene Untersuchungen angestellt worden, die jedoch den Praktiker weniger interessieren.

Die Auflösungsgrenze eines Katodenstrahloszillografen hinsichtlich der Frequenz des zu untersuchenden Vorgangs ist u. a. durch die maximale Kippfrequenz gegeben. Im allgemeinen erreichen die handelsüblichen Oszillografen eine Kippfrequenz von etwa 200 kHz. Das bedeutet, daß man z. B. fünf Perioden einer Schwingung von 1 MHz (300 m Wellenlänge) noch gut darstellen kann. In optischer Hinsicht ist die Auflösungsgrenze durch das Verhältnis zwischen Leuchtschirmdurchmesser und Fleckschärfe der Röhre gegeben. Man rechnet durchschnittlich mit 0,1...0,5 mm Fleckdurchmesser. Beträgt die nutzbare Länge des Schirmes 70 mm, so sind demnach noch etwa 100...200 Einzelvorgänge optisch zu unterscheiden, wenn man von Überstrahlungseffekten, Lichthofbildung usw. absieht.

Um ein stabiles Arbeiten und konstante Grunddaten zu erhalten, empfiehlt es sich, die an den Oszillografen gelegte Netzspannung zu überwachen und eine entsprechende Regelmöglichkeit vorzusehen. Es ist nämlich meist nur ein Teil der Betriebsspannungen im Netzgerät stabilisiert, so daß vor allem die Anodenspannung den Netzspannungsschwankungen folgt. Das bedeutet jedoch eine Änderung der Ablenkempfindlichkeit, wodurch genaue Messungen stark beeinträchtigt werden. Sehr empfehlenswert sind automatische Spannungskonstanthalter, wie sie z. B. von Siemens nach dem Prinzip gesättigter Eisendrosseln gebaut werden. Moderne Hochleistungsoszillografen sind in dieser Hinsicht allerdings so einwandfrei, daß zusätzliche Stabilisiermaßnahmen nicht erforderlich werden.

II. Auswertung der Oszillogramme

In vielen Fällen genügt eine kurze Betrachtung des Schirmbildes. Oft besteht jedoch der Wunsch, das Oszillogramm in irgendeiner Form festzuhalten, um es für spätere Vergleiche bei der Hand zu haben oder um interessante Vorgänge aufzubewahren. Diesem Zweck dienen die einfachste Methode des grafischen Kopierens und das genauere Verfahren der Fotografie. Die fotografische Aufnahme kommt übrigens bei der Fixierung einmaliger Vorgänge ausschließlich in Betracht.

1. Grafisches Kopieren

Das Kopieren der Leuchtschirmbilder geht in höchst einfacher Weise vor sich. Man legt auf den Leuchtschirm ein durchsichtiges Blatt Papier und paust das Oszillogramm möglichst genau durch. Dabei merkt man sich zweckmäßigerweise die Ruhelage des Strahls an, um später einen festen Bezugspunkt zu haben. Das ist insbesondere bei Vorgängen, in denen die Gleichspannungskomponente eine Rolle spielt, von Bedeutung.

Es ist empfehlenswert, wenn man vor dem Ausschnitt für den Leuchtschirm der Oszillografenröhre auf der Frontplatte einen Kreisring anbringt, der mit einem Bajonettverschluß oder mit Kordelmuttern leicht gelöst werden kann. Auf diese Weise läßt sich das Papier unter den Ring klemmen. Die Verwendung von transparentem Millimeterpapier ist besonders vorteilhaft, weil die Hilfslinien die spätere Auswertung sehr erleichtern. Man kann auch noch zusätzliche Bezugslinien mit aufzeichnen, indem man zuerst die horizontale und dann die vertikale Ablenkspannung unterbricht. Dadurch entsteht jeweils eine vertikale bzw. horizontale Linie, die man durchpausen und später als Bezugslinien des Oszillogramms verwenden kann. In diesem Zusammenhang sei vorgeschlagen, in die Zuleitungen zu den Ablenkplatten einen periodisch arbeitenden Schalter einzubauen, der die Platten kurzzeitig an den Schaltungsnullpunkt und danach wieder an die Ablenkspannungen U_1 und U_2 legt, siehe Bild 75. Um ein Flimmern zu vermeiden, sollte die Umschaltfrequenz mindestens 20 Hz betragen. Liegen die Platten genau solange am Nullpunkt wie an den Spannungen, so bilden sich die zu dem Oszillogramm gehörenden Koordinaten mit auf dem Leuchtschirm ab [A 32]. Natürlich müssen die beiden Schaltvorgänge um 90° zueinander versetzt sein, damit jeweils dann, wenn eine Spannung unterbrochen ist, die andere an dem andern Plattenpaar herrscht. Der richtige Verlauf der Umschaltung ist in Bild 76 dargestellt. Während der Zeit t_1 liegt nur die senkrechte Ablenkspannung U_1 an der Röhre, so daß die senkrechte Koordinate geschrieben wird. Während der Zeit t_2 wirken beide Spannungen zusammen und schreiben das eigentliche Oszillogramm. Im Zeitraum t_3 wirkt nur die waagerechte Ablenkspannung U_2 und der Strahl

zeichnet die Abszisse auf; während der Zeit t_4 schließlich geschieht gar nichts, d. h. der Strahl markiert den Nullpunkt. Danach beginnt der Vorgang von neuem. Die gesamte Periode muß etwa $^1/_{20}$ sec dauern. Auf diese Weise erhält man ein Leuchtschirmbild des Vorgangs mit den Koordinaten, wie es z. B. in Bild 77 für eine Sinuskurve dargestellt ist. Natürlich ist das

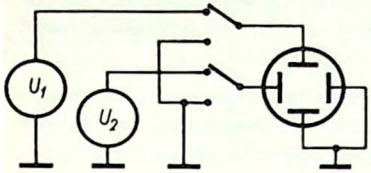
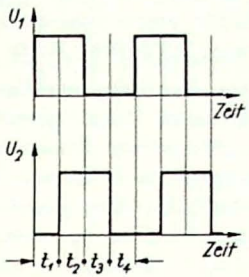


Bild 75: Vorschlag zur Sichtbarmachung der Koordinaten



Rechts Bild 76: Verlauf der Umschaltungen zur Koordinatendarstellung

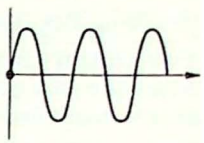


Bild 77: Oszillogramm mit mitgeschriebenen Koordinaten

Oszillogramm dunkler als ohne Koordinaten, weil die Strahlintensität mit auf das Achsenkreuz und den Nullpunkt verteilt wird. Voraussetzung für das richtige Arbeiten ist, daß die Umschaltfrequenz wesentlich kleiner als die Vorgangsfrequenz ist, d. h. für sehr niederfrequente Oszillogramme ist das Verfahren ungeeignet. Als Umschalter können mechanische Einrichtungen, aber auch entsprechend gesteuerte Elektronenröhren verwendet werden. Viele moderne Industrieoszillografen enthalten übrigens die auf S. 70 angedeutete Kopiervorrichtung, so daß das Arbeiten nicht schwer fällt.

Selbstverständlich setzt das einwandfreie Durchpausen des Bildes absoluten Synchronismus und ruhiges Verweilen auf dem Leuchtschirm voraus.

2. Fotografisches Fixieren

Das fotografische Aufnehmen normaler stehender Bilder ist nicht schwer, da die Lichtstärken verhältnismäßig groß sind. Im allgemeinen genügen handelsübliche Fotoapparate mit einsetzbarer Mattscheibe (Plattenkamera) und doppeltem Auszug. Auch Kleinbildkameras sind natürlich bestens geeignet. Sehr vorteilhaft ist eine Spiegelreflexkamera (z. B. Rolleicord oder Rolleiflex), die das gleichzeitige Beobachten des Leuchtschirmbildes während der Aufnahme erlaubt. Hat man einen gewöhnlichen Apparat, so befestigt man ihn möglichst stabil auf einem Tischstativ, das gegebenenfalls noch durch ein Gewicht beschwert wird. Das Leuchtschirmbild wird auf der Mattscheibe scharf eingestellt; anschließend wird die Kassette eingesetzt. Der Raum soll möglichst vollständig verdunkelt werden, um Vorbelichtungen und Lichtreflexe auf dem Schirm zu vermeiden. Dann hat man auch bei einfachen Fotoapparaten die Möglichkeit, das Schirmbild während der Aufnahme zu beobachten.

Die erforderliche Belichtungszeit hängt von verschiedenen Einzelfaktoren ab. Sie kann um so kürzer sein, je größer die Lichtstärke des Objektivs und je kleiner die Vergrößerung, d. h. das Verhältnis zwischen Aufnahme und Bild, gemacht werden. Hat die Kamera einen doppelten Auszug, so wird man die Aufnahme so groß wie das Bild selbst wählen; weiterhin haben die Strahlhelligkeit und die spektrale Anpassung des Negativmaterials an die Leuchtschirmfarbe einen großen Einfluß. Auch die Empfindlichkeit der Fotoplatte spielt eine erhebliche Rolle.

Da es eine große Zahl von Oszillografenröhren mit dem verschiedensten Schirmmaterial gibt, hat eine Vorausberechnung der Belichtungszeit in der Praxis wenig Zweck. Man verwendet am besten orthochromatische Platten, um bei rotem Licht entwickeln zu können. Da man praktisch nur eine Ebene abzubilden hat, Tiefenschärfe also nicht erforderlich ist, kann man die größtmögliche Blendenöffnung im Interesse kurzer Belichtungszeiten wählen. Ein Fotoapparat mit einer Lichtstärke von f = 4,5 genügt in fast allen Fällen. Die Schirmhelligkeit wird man während der Aufnahme über das für Beobachtungszwecke übliche Maß steigern, und man merkt sich zweckmäßigerweise die einmal gefundene Reglerstellung. Es ist am besten, wenn man von einfachen Oszillogrammen zunächst Probeaufnahmen macht, um sich von der ungefähr erforderlichen Belichtungszeit zu überzeugen [A 33]. Am einfachsten sind stehende Leuchtschirmbilder aufzunehmen, da der Belichtungszeit dann nach oben keine Grenzen gesetzt sind, wenn das Bild möglichst vollkommen ruhig steht. Eine untere Belichtungsgrenze besteht nicht nur aus fotografischen, sondern auch aus oszillografischen Gründen. Die Belichtungszeit muß nämlich mindestens der Dauer einer Oszillogrammperiode entsprechen, weil man sonst nur einen Teil des Gesamtbildes auf die Platte bekommt. Besser ist es noch, wenn auf die Belichtungszeit etwa 5 Perioden treffen.

Als ungefährer Anhaltspunkt für die Belichtungszeit möge dienen, daß man mit einer Anodenspannung von etwa 1000 V eine stehende Figur auf einem Leuchtschirm von etwa 7 cm Durchmesser rund $^1/_5$ sec. belichten muß (Blendenöffnung 4,5, 17° Sch., orthochromatisch). Glücklicherweise ist das moderne Aufnahmematerial auch gegen starke Über- oder Unterbelichtung nicht sehr empfindlich, so daß man nicht allzu ängstlich zu sein braucht. Probeaufnahmen mit verschiedenen Belichtungszeiten sind, wie gesagt, stets ratsam.

Die Mitfixierung der Koordinatenachsen geschieht am einfachsten dadurch, daß man zunächst das ganze Oszillogramm aufnimmt und dann kurzzeitig die eine, darauf die andere Ablenkspannung von den Platten entfernt. Die fotografische Aufnahme einmaliger, also nicht periodischer Vorgänge, gestaltet sich wesentlich schwieriger und stellt an die Optik, die Oszillografenröhre und das Negativmaterial weit größere Anforderungen. Man

wird daher in solchen Fällen alle oben erwähnten Faktoren, die eine kurze Belichtungszeit gewährleisten, möglichst sorgfältig einstellen und wählen. An Hand der für jede Röhre angegebenen maximalen Schreibgeschwindigkeit ist eine annähernde Beurteilung der Frage, ob ein einmaliger Vorgang bestimmter Dauer noch fotografisch zu erfassen ist, durchführbar. Indessen kommen solche Aufnahmen für den Praktiker im allgemeinen nicht in Betracht.

Erwähnt sei noch die sogenannte Leuchtschirm-Kontaktfotografie, für die eine Kamera nicht erforderlich ist. Man preßt auf den Leuchtschirm — am besten mit der Hand — ein Stück möglichst hochempfindliches Fotopapier und belichtet es mit dem Oszillogramm [A 34]. Die so erhaltenen Bilder können natürlich hinsichtlich Qualität mit den durch normale Verfahren erzielten Aufnahmen nicht verglichen werden. Trotzdem ist diese Methode als Aushilfslösung in Fällen, in denen kein Fotoapparat zur Verfügung steht, mitunter recht willkommen.

Zum Entwickeln des Negativmaterials eignet sich am besten ein Rapidentwickler. Diese Entwickler liefern eine besonders gute Schwärzung bei bestem Kontrast, was für Oszillogramme wichtig ist.

3. Auswertung

Die Auswertung der nach den Abschnitten 1 und 2 erhaltenen Unterlagen richtet sich natürlich weitgehend nach dem Inhalt des Oszillogramms. Die einfache Leuchtschirmkopie bzw. Leuchtschirmpause ist, wie jede andere Zeichnung, einer gewöhnlichen grafischen Auswertung zugänglich, so daß darüber nichts weiter zu sagen ist. Natürlich muß der richtige Zahlenmaßstab angegeben sein, wenn man eine zahlenmäßige Auswertung vornehmen will. Da die Ablenkempfindlichkeit bekannt ist, macht das keine Schwierigkeiten.

Liegen kleine, aber scharfe fotografische Bilder vor, so wird man diese zweckmäßigerweise vor der Auswertung vergrößern, um größere Genauigkeiten zu erhalten. Das gilt besonders für Aufnahmen mit Kleinbildkameras. Man wählt nach Möglichkeit fotografisch hartes Papier, weil mit diesem eine exakte Auswertung möglich ist. Eine zu starke Vergrößerung ist nicht empfehlenswert, weil man nur mehr Papier verbraucht, die Auswertegenauigkeit jedoch über ein bestimmtes Maß hinaus nicht gesteigert werden kann. Die in jeder Aufnahme enthaltene Unschärfe steigt nämlich mit zunehmender Vergrößerung naturgemäß an.

III. Deutung von Leuchtschirmbildern

Der beste Oszillograf und die besten Hilfsmittel haben wenig Zweck, wenn der Benützer die damit erhaltenen Oszillogramme nicht auszuwerten versteht. Die Betrachtung des Oszillogramms ist wertlos, wenn man nichts damit anzufangen, d. h. es nicht auszudeuten weiß.

Die Grundlage für das Verständnis eines Leuchtschirmbildes ergibt sich aus den Darlegungen auf Seite 27, wo von dem Kräfteparallelogramm die Rede war. Es empfehlen sich für den Anfänger einige grafische Konstruktionen, die ein einfaches Leuchtschirmbild aus einer senkrechten und einer waagerechten Bewegung punktweise entstehen lassen. Letzten Endes ent-

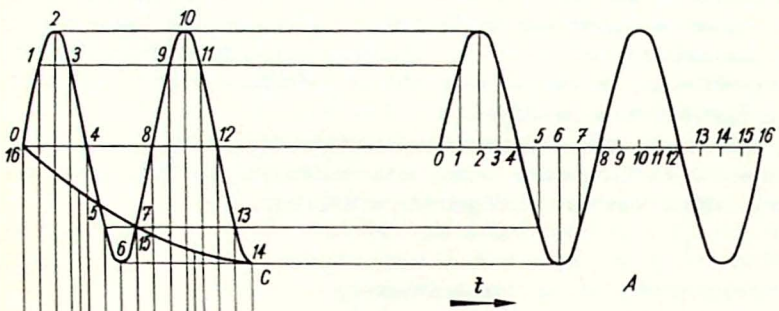
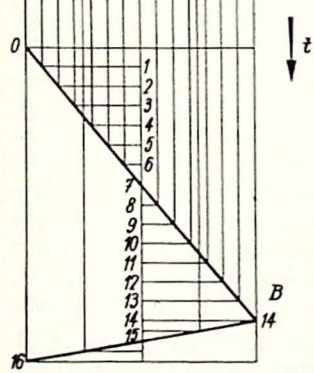


Bild 78: Leuchtschirmfigur aus Kippspannung und Sinusspannung der doppelten Frequenz



spricht bereits das Aufzeichnen einer Sinuskurve von Hand einer derartigen Konstruktion, weil man den Bleistift nicht nur nach oben und unten, sondern gleichzeitig auch seitlich verschiebt. Die zeichnende Hand, die ja die Sinuskurve zu Papier bringt, steht dann unter dem Einfluß von zwei gleichzeitig wirkenden, in ihrer Richtung um 90 ° versetzten Kräften. Schon beim gewöhnlichen Schreiben trifft das zu. Der Katodenstrahl der Oszillografenröhre verhält sich nicht anders.

Am leichtesten sind Leuchtschirmbilder zu verstehen, deren horizontale Komponente proportional der Zeit verläuft, d. h. alle Oszillogramme, die mit Hilfe einer Kippspannung geschrieben werden. In diesem Fall ist der Meßvorgang zeitlich auseinandergezogen. Ein großer Teil der Oszillogramme

verläuft periodisch, und man braucht nur ein wenig Routine, um den eigentlichen Vorgang klar zu erfassen. Bild 78 zeigt z. B. das Zustandekommen der Leuchtschirmfigur (oben links) aus dem gleichzeitigen Einwirken einer Kippspannung (unten links) und einer Sinusspannung der doppelten Frequenz (oben rechts). Die Konstruktion ist punktweise angedeutet.

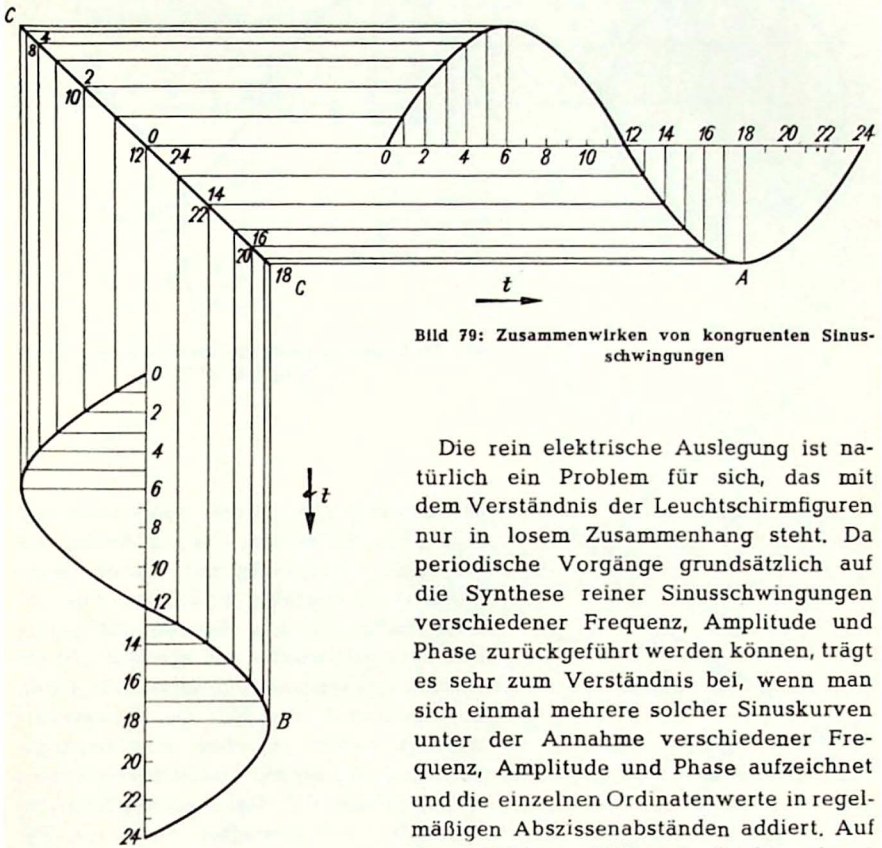


Bild 79: Zusammenwirken von kongruenten Sinusschwingungen

Die rein elektrische Auslegung ist natürlich ein Problem für sich, das mit dem Verständnis der Leuchtschirmfiguren nur in losem Zusammenhang steht. Da periodische Vorgänge grundsätzlich auf die Synthese reiner Sinusschwingungen verschiedener Frequenz, Amplitude und Phase zurückgeführt werden können, trägt es sehr zum Verständnis bei, wenn man sich einmal mehrere solcher Sinuskurven unter der Annahme verschiedener Frequenz, Amplitude und Phase aufzeichnet und die einzelnen Ordinatenwerte in regelmäßigen Abszissenabständen addiert. Auf diese Weise erhält man Punkte, deren Verbindung eine verzerrte Sinusschwingung liefert. Man kann ganz beliebige Verhältnisse wählen. Auf diese Weise wird das Zustandekommen der kompliziertesten periodischen Vorgänge erklärlich. Sehr vorteilhaft ist es, wenn man sich z. B. den charakteristischen Verlauf einer durch die zweite [A 35], dritte und vierte Oberwelle verzerrten Grundwelle mit Hilfe der erwähnten grafischen Konstruktion vor Augen führt und die so entstehenden Bilder ein für allemal dem Gedächtnis einprägt.

Wesentlich schwieriger ist die Ausdeutung von Leuchtschirmbildern, die von zwei beliebigen, nicht zeitproportionalen Komponenten hervorgerufen werden. Am einfachsten ist es noch, wenn man zwei reine Sinusschwingun-

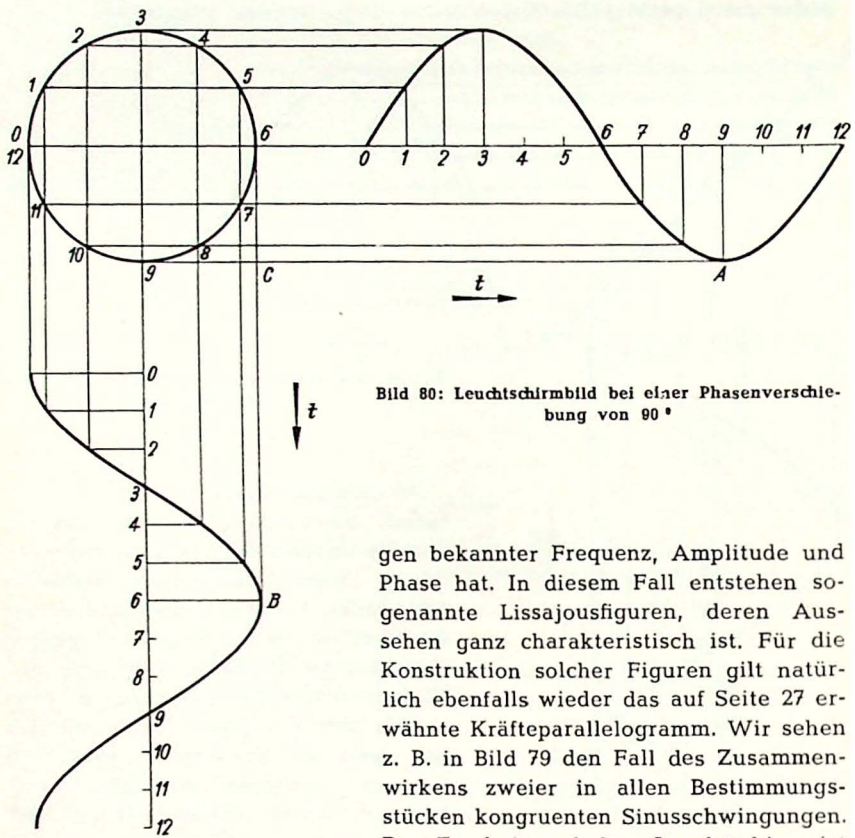


Bild 80: Leuchtschirmbild bei einer Phasenverschiebung von 90°

gen bekannter Frequenz, Amplitude und Phase hat. In diesem Fall entstehen sogenannte Lissajousfiguren, deren Aussehen ganz charakteristisch ist. Für die Konstruktion solcher Figuren gilt natürlich ebenfalls wieder das auf Seite 27 erwähnte Kräfteparallelogramm. Wir sehen z. B. in Bild 79 den Fall des Zusammenwirkens zweier in allen Bestimmungsstücken kongruenten Sinusschwingungen. Das Ergebnis auf dem Leuchtschirm ist ein unter 45° geneigter Strich [A 36]. Die Neigung des Strichs ist übrigens ein Maß für das Amplitudenverhältnis V der beiden Spannungen; bei $V = 0$ ist er waagerecht (die senkrechte Komponente fehlt dann ganz), bei $V = \infty$ dagegen senkrecht (die waagerechte Komponente fehlt). Wird eine Amplitude verkleinert und die andere von Null aus allmählich vergrößert, so bekommt man auf dem Schirm gewissermaßen einen Leuchtzeiger, der wie bei einem Voltmeter von der (waagerechten) Nullage bis zum (senkrechten) Höchstausschlag wandert. Diese Erscheinung ist schon für praktische Zwecke ausgewertet worden.

In Bild 80 sehen wir das Leuchtschirmbild für den Fall, daß zwischen den beiden Komponenten eine Phasenverschiebung von 90° besteht. Es bildet sich ein Kreis aus. Wird eine Amplitude kleiner, so entsteht eine Ellipse, deren große Achse jedoch stets genau senkrecht bzw. waagerecht steht. Erst wenn gleichzeitig eine Phasenverschiebung vorgenommen wird, erfolgt eine Neigung dieser Achse [A 37].

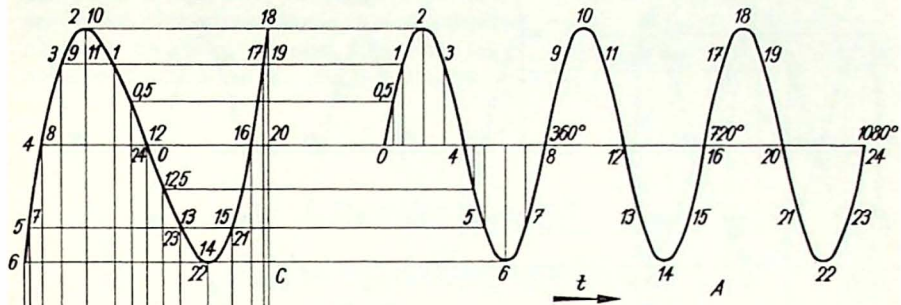
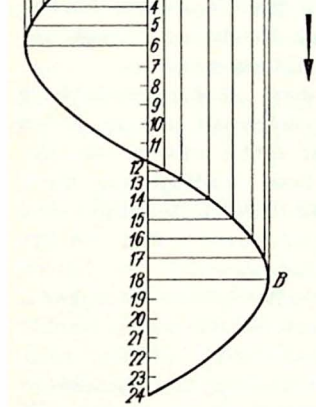


Bild 81: Leuchtschirmbild bei einem Frequenzverhältnis von 1 : 3, gleichphasig



Die Verhältnisse werden komplizierter, wenn außerdem noch ein größeres oder kleineres Frequenzverhältnis als 1 : 1 gewählt wird. Ein solcher Fall ist in Bild 81 dargestellt. Die Frequenzen verhalten sich nunmehr wie 1 : 3 und sind gleichphasig [A 38, 39]. Die so entstehende Figur wird noch komplizierter, wenn man eine andere Phasenlage nach Bild 82 wählt [A 40]. An Hand der eingetragenen Zahlen ist es nicht schwer, jeweils die richtige Zuordnung zu finden und die Konstruktion auch für andere Frequenz-, Phasen- und Amplitudenverhältnisse durchzuführen [A 41].

Diese Lissajousfiguren, übrigens seit langem aus der Schwingungslehre bekannt, können relativ einfach ausgedeutet werden, weil die Gesetzmäßigkeit — nämlich die Sinusfunktion — beider Komponenten bekannt ist. Wesentlich schwieriger wird die Sache, wenn beide Komponenten ganz verschiedene und ganz beliebige Funktionen sind. In solchen Fällen hilft man sich zweckmäßigerweise in der Form, daß man zunächst jede Komponente

für sich als Oszillogramm mit zeitlinearer Basis erscheinen läßt. Man legt also jede Spannung nacheinander an die Meßplatten, während die Zeitplatten mit einer Kippspannung verbunden werden. Fotografiert man beide Oszillogramme und verwendet diese Fotos als Grundlage für eine Konstruktion nach den Bildern 79/82, so erhält man eine resultierende Figur, die dem ursprünglichen Leuchtschirmbild genau entsprechen muß. Allerdings

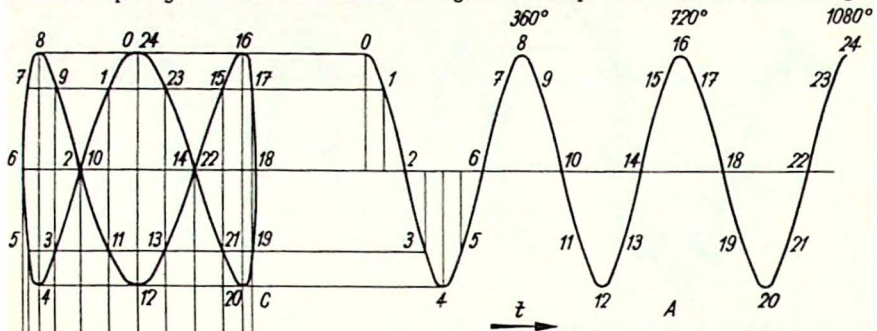
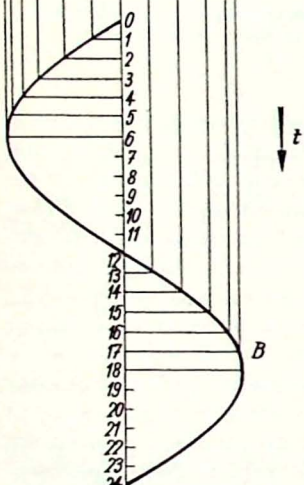


Bild 82: Leuchtschirmbild wie Bild 81, andere Phasenlage



muß die gegenseitige Phasenlage der beiden Spannungen genau bekannt sein, was vorher entweder mit einer Doppelstrahlröhre oder einem Elektronenröhrenschalter festgestellt werden muß.

Selbstverständlich ist das geschilderte Vorgehen sehr mühevoll und in vielen Fällen auch gar nicht erforderlich. Der Geübte kann dem Oszillogramm meist schon so viel Anhaltspunkte entnehmen, daß er ein ziemlich genaues Bild von den Vorgängen selbst gewinnt. So liefern z. B. bereits die auftretenden Helligkeitsunterschiede wertvolle Hinweise. Dunkle Stellen entsprechen stets großen, helle Stellen dagegen kleinen Strahlgeschwindigkeiten, also entsprechend langsamen Spannungsänderungen. Wenn man jedoch derartige Ausdeutungen nicht fertigbringt, führt der Weg des getrennten Oszillografierens der Spannungen bei einiger Sorgfalt und Mühe stets zum Ziel. Bei der Deutung von Oszillogrammen soll man sich stets vor Augen halten, daß auch das komplizierteste Bild stets das Ergebnis der Wirkung e i n e s Leuchtflecks ist, der n a c h e i n a n d e r sämtliche Linien zeichnet. Man muß wegen der Helligkeitsunterschiede auch oft umdenken

und zeitliche in optische Vorgänge (und umgekehrt) gedanklich transformieren können. Wer diese Grundregeln beachtet und über ein wenig Kombinations- und Vorstellungsvermögen verfügt, wird bald auf keine nennenswerten Schwierigkeiten mehr stoßen.

Die Ausführungen des nun folgenden Kapitels, die sich mit den Anwendungen befassen, werden zeigen, daß alle nur denkbaren Leuchtschirmbilder stets auf das Wirken der wenigen, aber grundlegenden oben dargestellten Gesetzmäßigkeiten zurückgeführt werden können. Wir erhalten demnach an Hand der nun folgenden Ausführungen einen noch wesentlich tieferen Einblick in die oszillografische Technik.

Drittes Kapitel
Anwendungsgebiete der Katodenstrahl-Oszillografie

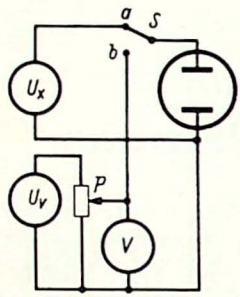
Die Anwendungen des Katodenstrahloszillografen sind so zahlreich, daß wir in diesem Buch nur über die radiotechnisch wichtigsten Gebiete sprechen wollen. Deshalb erfolgt eine Aufteilung in drei große Gruppen, nämlich in allgemeine elektrotechnische Anwendungen, Anwendungen in der Hoch- und Niederfrequenztechnik und Anwendungen in der Elektroakustik. Ein letzter Abschnitt gibt eine kurze Andeutung elektrischer Sondergebiete; hier muß weitgehend auf die elektronische Spezialliteratur verwiesen werden.

I. Allgemeine elektrotechnische Anwendungen

1. Gleichspannungsmessungen

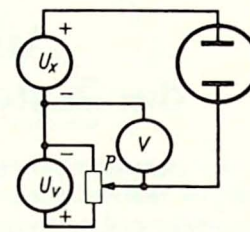
Für Gleichspannungsmessungen fast beliebiger Genauigkeit stehen heute natürlich sehr empfindliche und einfach zu handhabende Spezialinstrumente zur Verfügung. Indessen steht der Radiotechniker oft vor der Aufgabe, relativ große Gleichspannungen an Stromquellen mit sehr hohen Innenwiderständen, z. B. an den Anoden bei Widerstandsverstärkern, zu messen. In diesem Fall versagen die Drehspulinstrumente wegen ihres nicht zu vernachlässigenden Eigenverbrauchs, und die in den Radiowerkstätten zur Verfügung stehenden Röhrenvoltmeter sind meist nur für die Messungen von Wechselspannungen oder sehr kleinen Gleichspannungen geeignet. Die Katodenstrahlröhre dagegen ist für die praktisch verlustfreie Bestimmung auch größerer Werte das gegebene Instrument.

Die Messung erfolgt in einfacher Weise dadurch, daß man zunächst die Vertikal- oder Horizontalplatten galvanisch verbindet und dann die Lage des Leuchtflecks genau markiert. Nun legt man die zu messende Gleichspannung an die Platten und ermittelt die neue Lage des Flecks. Die längenmäßige Entfernung zwischen beiden Flecklagen ist ein Maß für die angelegte Gleichspannung, die mit Hilfe der bekannten Ablenkempfindlichkeit genau errechnet werden kann. Ist der Leuchtfleck z. B. um 15 mm gewandert und beträgt die Ablenkempfindlichkeit 0,2 mm/V, so hat die Spannung einen Wert von 15 : 0,2 = 75 V. Voraussetzung für eine verlustlose Messung ist natürlich, daß den Ablenkplatten keine Arbeitswiderstände parallel liegen.



Links Bild 83: Schaltung zur Messung von Gleichspannungen

Rechts Bild 84: Kompensationsschaltung zur Messung hoher Gleichspannungen



Sind Gleichspannungsmessungen öfter durchzuführen, so baut man sich zweckmäßigerweise eine kleine Meßschaltung nach Bild 83 auf, bei der die Katodenstrahlröhre nur als Indikator dient. Man bringt den Schalter S zuerst in die Stellung a und merkt sich die durch die zu messende Spannung U_x gegebene Leuchtflecklage. Dann schaltet man auf Stellung b und dreht das Potentiometer P so lange, bis sich dieselbe Flecklage ergibt. Die Spannung kann nun direkt an dem Voltmeter V abgelesen werden, dessen Genauigkeit und Eigenverbrauch beliebig groß sein können. U_v ist die Spannung der Vergleichstromquelle, die z. B. durch das Gleichstromnetz oder ein Wechselstrom-Netzgerät dargestellt werden kann.

Bei der Messung besonders großer Gleichspannungen, die den Leuchtfleck weit über den Leuchtschirm hinaus ablenken würden, empfiehlt sich eine Kompensationsschaltung nach Bild 84. Die mit dem Potentiometer P eingestellte Teilspannung liegt polverkehrt in Reihe mit der Meßspannung U_x. Das Potentiometer wird so eingestellt, daß die Leuchtflecklage der Strahlruhelage (Spannung 0) entspricht. Dann ist $U_x = U_{v0}$, wobei U_{v0} am Voltmeter abgelesen werden kann.

2. Wechselspannungsuntersuchungen

Für Wechselspannungsuntersuchungen ist der Katodenstrahloszillograf das gegebene Instrument. Am einfachsten gestaltet sich die Bestimmung der Größe einer sinusförmigen Wechselspannung. Die Länge des hierdurch auf dem Schirm hervorgerufenen Leuchtstriches entspricht der doppelten Amplitude der Spannung. Ist l die Leuchtstrichlänge und E die Ablenkempfindlichkeit, so hat die sinusförmige Wechselspannung U_{eff} den Wert

$$U_{eff} = \frac{l}{2E\sqrt{2}} \quad [V_{eff}] \tag{16}$$

Wenn man von dem besonders bei tiefen Frequenzen praktisch zu vernachlässigenden kapazitiven Blindstrom über die Ablenkplatten absieht, gestaltet sich eine Wechselspannungsmessung genau so verlustlos wie eine Gleichspannungsmessung. Man kann im übrigen die im letzten Absatz besprochenen Schaltungen Bild 83 und 84 ohne weiteres sinngemäß auf Wechselspannungsmessungen übertragen. Bei der ersten Schaltung wird in beiden Schalterstellungen die gleiche Strichlänge zugrundegelegt. Die zweite Schaltung setzt natürlich Frequenz- und Phasengleichheit voraus. Dadurch wird der Aufbau komplizierter, so daß man nur in Ausnahmefällen zu dieser Anordnung greifen wird.

Für die Untersuchung verzerrter Wechselspannungen ist die Katodenstrahlröhre besonders wertvoll. Sie gestattet zunächst das mühelose Bestimmen der Amplitude durch einfaches Abmessen. Die Effektivspannung hängt von dem jeweiligen Formfaktor der Spannung ab, der vom Wert $\sqrt{2}$ mehr oder weniger stark abweichen kann.

Weitgehende Aufschlüsse liefert das eigentliche Oszillogramm der Wechselspannung. Es kann nach einem der beschriebenen Verfahren aufgenommen und ausgewertet werden. Nach den Methoden der grafischen Fourieranalyse, die auch von mathematisch nicht Bewanderten nach einem bestimmten Schema durchgeführt werden kann (Fourier-Analysator), lassen sich mit Leichtigkeit die Oberwellen hinsichtlich Ordnungszahl, Amplitude und gegenseitiger Phasenlage bestimmen. Auch der Effektivwert läßt sich auf ähnliche Weise leicht ermitteln. Ein wesentlicher Vorzug des Katodenstrahloszillografen ist darin zu sehen, daß Veränderungen der Kurvenform, die beispielsweise durch unmittelbare Eingriffe in die betreffende Wechselstromschaltung hervorgerufen werden, sofort im Leuchtschirmbild zum Ausdruck kommen. Bei den nur registrierenden Oszillografen ist das nicht möglich.

3. Frequenzmessungen

Bei der Frequenzmessung dient die Katodenstrahlröhre fast ausschließlich als verlustfreier Indikator. Die bekannteste Methode besteht darin, daß man mit Hilfe beider Ablenkplattenpaare Lissajoussche Figuren erzeugt.

Am einfachsten ist es, wenn man einen innerhalb weiter Frequenzgrenzen veränderlichen, geeichten Wechselspannungsgenerator, z. B. einen Tongenerator, zur Verfügung hat. Die erforderliche einfache Schaltung ist in Bild 85 wiedergegeben. Man stellt am Tongenerator etwa die gleiche Spannung ein, wie sie die Wechselspannung U, deren Frequenz bestimmt werden soll, aufweist. Nun verändert man die Frequenz des Tongenerators solange, bis sich die einfachste Lissajousfigur (je nach Phasenlage ein Strich, eine Ellipse oder ein Kreis) ergibt. Dann kann die Frequenz von U an der geeichten Skala des Tongenerators unmittelbar abgelesen werden.

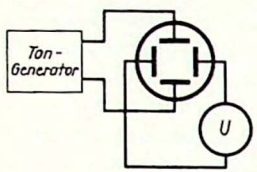


Bild 85: Schaltung für Frequenzmessungen

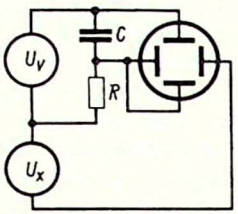


Bild 86: Schaltung zur Phasenverschiebung bei Frequenzmessungen

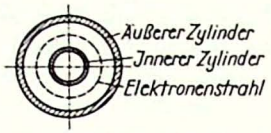


Bild 87: Anordnung der Ablenkzylinder beim Polarkoordinaten-Oszillograf

Ist die zu bestimmende Frequenz tiefer oder höher als die am Generator einstellbare kleinste oder größte Meßfrequenz, so müssen kompliziertere Lissajousfiguren eingestellt werden. Dann ist es zweckmäßig, wenn man sich zunächst einmal mit der Ausdeutung der Figuren genau vertraut macht. Stillstehende und ausgeprägte Figuren bedeuten stets ein gewisses ganzzahliges Frequenzverhältnis, die Zahl der Schleifen gibt Aufschluß über dessen Größe. Bei hinreichend scharfen und großen Oszillografenröhren lassen sich auf diese Weise ohne weiteres Frequenzunterschiede bis etwa 1:20 gut feststellen. Hat man also z. B. einen Tongenerator mit einer Höchstfrequenz von 20 kHz, so kann man noch Frequenzen bis 400 kHz, also Rundfunkfrequenzen, mit Leichtigkeit bestimmen.

Werden die Frequenzverhältnisse noch größer, so empfiehlt es sich, den beiden Komponenten eine gegenseitige Phasenverschiebung fester Größe zu erteilen. Das kann z. B. mit einer Schaltung nach Bild 86 geschehen. Durch ein RC-Glied wird dafür gesorgt, daß die Vergleichsspannung U_v gegenüber der Spannung U_x mit der unbekannten Frequenz um annähernd 90° phasenverschoben ist. Das sich dann ergebende Oszillogramm hat grundsätzlich die Form eines Kreises, dessen Peripherie mit der höherfrequenten Spannung gewissermaßen moduliert ist. Die Bestimmung des Frequenzverhältnisses wird dann wesentlich erleichtert.

Sehr wichtig ist es, daß bei der entstehenden Figur auch wirklich alle Schleifen und Linien sichtbar sind. An Hand des einfachsten Bildes, der Ellipse bzw. des Striches, kann man unschwer einsehen, daß sich bei be-

stimmten Phasenlagen verschiedene Linien überdecken und sich so der Beobachtung entziehen können; denn der scheinbare, vorhin erwähnte Strich bildet ja gewissermaßen den Sonderfall einer Ellipse, dessen kleine Achse Null ist. Er besteht jedoch in Wirklichkeit aus zwei Linien, die erst bei einer geringen Phasenverschiebung zwischen den beiden Spannungen sichtbar werden. Derartige Erscheinungen sind bei komplizierteren Figuren in noch wesentlich größerem Umfang möglich [A 38—44].

Ein vorzügliches Mittel zur Bestimmung größerer Frequenzbereiche ist übrigens der Polarkoordinaten-Oszillograf. Es handelt sich dabei um eine Katodenstrahlröhre, die keine Ablenkplatten, sondern zwei konzentrische Ablenkzylinder nach Bild 87 besitzt. Sorgt man durch eine doppelmagnetische Ablenkung mit zwei gegeneinander um 90° phasenverschobenen Ablenkströmen bzw. Spulen dafür, daß der Elektronenstrahl auf dem Leuchtschirm einen Kreis beschreibt, so muß der Strahl den Zwischenraum zwischen den beiden Ablenkzylindern passieren (gestrichelte Linie). Er wird demnach von einem eventuellen Feld zwischen den beiden Zylindern zusätzlich beeinflußt. Legt man daher die Wechselspannung, deren Frequenz bestimmt werden soll, zwischen die beiden Ablenkzylinder, so wird der Kreis entsprechend beeinflußt. Infolge der großen zeitlichen Dehnung, die der Kreisfigur anhaftet, kann man das Verhältnis zwischen der den Kreis erzeugenden Frequenz und der unbekannten Frequenz sehr genau ermitteln. Der Polarkoordinaten-Oszillograf bildet übrigens auch für viele andere Verfahren ein ausgezeichnetes Hilfsmittel.

Die Bestimmung unbekannter Frequenzen mit Hilfe bekannter Kippspannungen ist nur dann vorteilhaft, wenn die Kippfrequenz mit einer genau bekannten, stabilen Frequenz starr synchronisiert ist. Ferner soll die zu ermittelnde Frequenz stets größer als die Kippfrequenz sein, weil die sich im anderen Fall ergebenden Leuchtschirmbilder recht schwer zu deuten sind. Freie Kippfrequenzen als Frequenznormal zu verwenden, ist wegen deren Unkonstanz recht problematisch.

4. Strommessungen

Die einfachste Methode besteht in der Einschaltung eines ohmschen Widerstandes in den Stromkreis. Der auftretende Spannungsabfall, der dem Strom proportional ist, wird nunmehr oszillografiert. Da der Widerstand zwecks Vermeidung von Störungen des Betriebs der betreffenden Schaltung klein gegenüber den sonstigen Stromkreiswiderständen sein muß, ist oft die Heraufsetzung des Spannungsabfalls durch geeignete Verstärker erforderlich. Der dadurch bedingte Aufwand kann nur dann in Kauf genommen werden, wenn

gleichzeitig der zeitliche Verlauf des Stromes interessiert. Lediglich zur Strommessung sind Zeigerinstrumente besser am Platz.

Eine unmittelbare Strommessung ist mit Hilfe von Ablenkspulen möglich, die von dem zu messenden Strom durchflossen werden und den Elektronenstrahl in geeigneter Weise ablenken. Allerdings werden besonders für kleine Ströme recht große Induktivitäten erforderlich, um einen brauchbaren Strahlausschlag zu erhalten. Die Einschaltung derartiger Spulen in den betreffenden Stromkreis ist in vielen Fällen nicht zulässig und die erhaltenen Oszillogramme besitzen besonders dann, wenn die Ablenkspulen Eisen enthalten, nur geringen Wert. Es muß also von Fall zu Fall genau überlegt werden, ob die Anwendung dieses Verfahrens möglich ist. Für große Ströme dagegen, die schon mit wenig Spulenwindungen eine ausreichende Strahlablenkung ergeben, ist diese Art der Strommessung mitunter recht wertvoll.

5. Leistungsbestimmungen

Leistungsbestimmungen mit der Katodenstrahlröhre sind bei Wechselstrommessungen im Nieder- und Hochfrequenzgebiet möglich. Man geht am besten in der Weise vor, daß man die Effektivwerte von Strom J und Spannung U in der in den Abschnitten 2 und 4 geschilderten Weise bestimmt. Darauf nimmt man eine Phasenmessung nach dem im folgenden Abschnitt 6 beschriebenen Verfahren vor und bestimmt Wirkleistung N_w, Blindleistung N_b und Scheinleistung N_s aus U, J und dem ermittelten Phasenwinkel φ nach den bekannten Formeln

$$N_w = U \cdot J \cdot \cos\varphi \quad [W] \tag{17}$$

$$N_b = U \cdot J \cdot \sin\varphi \quad [VA] \tag{18}$$

$$N_s = U \cdot J \quad [VA] \tag{19}$$

Das wichtigste ist natürlich die Bestimmung des Phasenwinkels. Hier offenbart sich wieder der große Vorteil der Katodenstrahlröhre, die Phasenmessungen bis zu sehr hohen Frequenzen (höchste Rundfunkfrequenzen) in einwandfreier Form gestattet.

Die Bestimmung der Leistung kann auch auf Umwegen erfolgen. Beispielsweise ist in Bild 88 eine Schaltung dargestellt, die das Ermitteln der Leistung an einem beliebigen komplexen Widerstand $\mathfrak{R}$ erlaubt. Der von einer Stromquelle herrührende Strom J durchfließt gleichzeitig einen Kondensator C. Die an diesem auftretende Spannung ist dem Strom proportional und liegt an den waagerechten Ablenkplatten. Die am Widerstand $\mathfrak{R}$ auftretende Spannung U ist mit den senkrechten Ablenkplatten verbunden. Wäre $\mathfrak{R}$ ein ohmscher Widerstand, so würde sich auf dem Leuchtschirm bei gleichen Amplituden ein Kreis abbilden, während sich für den Fall, daß $\mathfrak{R}$ eine reine Reaktanz ist, ein Strich ergibt. Im ersten Fall ist die Wirkleistung am

größten, im zweiten Fall ist sie Null. Die von der Leuchtschirmfigur umschlossene Fläche ist daher ein Maß für die Leistung. Die Fläche kann z. B. in mm² ausplanimetriert und der sich ergebende Wert direkt in Watt umgerechnet werden, wenn Strom- und Spannungsmaßstab genau bekannt sind. Allerdings ist dieses Verfahren relativ mühsam und eignet sich nur dann für genaue Messungen, wenn die ohmsche Komponente von $\mathfrak{R}$ relativ groß ist. Man erhält sonst sehr kleine Flächen, deren Auswertung zu ungenau wird [A 45].

6. Phasenmessungen

Die Phasenmessung mit der Katodenstrahlröhre gestaltet sich sehr einfach. Man verwendet eine Schaltung nach Bild 89, die grundsätzlich der in Bild 88 gezeigten Anordnung entspricht, nur mit dem Unterschied, daß statt des Kondensators ein Widerstand R vorgesehen ist. Gegebenenfalls muß die

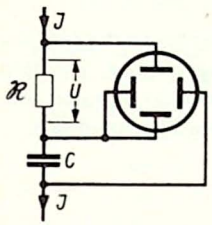


Bild 88: Schaltung zur Leistungsbestimmung

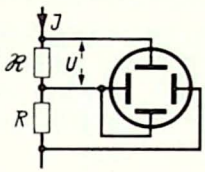


Bild 89: Schaltung zur Phasenmessung

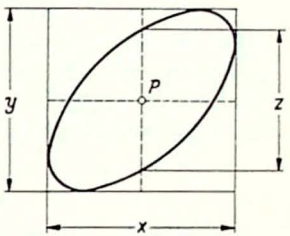


Bild 90: Auswertung der Phasenellipse

Spannung an R — wie übrigens auch an C von Bild 88 — über einen phasenreinen Verstärker heraufgesetzt werden. Wichtig ist außerdem, daß rein sinusförmige Spannungen bzw. Ströme zur Anwendung gelangen.

Die auftretende Leuchtschirmfigur ist je nach Bechaffenheit der Impedanz $\mathfrak{R}$ ein Kreis ($\mathfrak{R}$ ist eine Reaktanz), eine Ellipse ($\mathfrak{R}$ ist komplex) oder ein Strich ($\mathfrak{R}$ ist ein reeller Wert). In Bild 90 ist der allgemeine Fall einer Ellipse dargestellt [A 45]. Man kann sie entweder unmittelbar auf dem Leuchtschirm oder fotografisch auswerten. P ist der Mittelpunkt der Ellipse. Der Phasenwinkel φ zwischen U und J ist aus den Abschnitten y und z zu errechnen, und zwar ist

$$\varphi = \arcsin z/y \qquad (20)$$

Wie schon erwähnt, sind sinusförmige Ablenkspannungen unbedingt erforderlich, um eine unverzerrte Leuchtschirmfigur zu erhalten. Dagegen ist nicht unbedingt gleiche Größe der horizontalen und vertikalen Ablenkung erforderlich, wenn man das auch im Interesse der Genauigkeit anstreben sollte.

Selbstverständlich kann in der geschilderten Weise die Phasenverschiebung zwischen zwei beliebigen Komponenten, etwa zwischen zwei verschiedenen gleichfrequenten Spannungen, ermittelt werden. Das ist z. B. bei Transformatoren (Phasenverschiebung zwischen Eingangs- und Ausgangsspannung) oder beliebigen anderen Vierpolanordnungen bedeutungsvoll. Da bei diesem Verfahren kein Kippgerät benötigt wird, ist die Frequenzgrenze für die Meßspannungen nur durch die Eigenschaften der Katodenstrahlröhre gegeben, so daß man fast bis ins Kurzwellengebiet hinein verlustfreie Messungen ausführen kann.

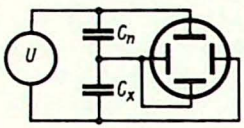


Bild 91: Schaltung zur Ermittlung von Kondensatorverlusten

Hat man eine Zweistrahlröhre oder einen Elektronenröhrenschalter zur Verfügung, so kann man auch Strom und Spannung untereinander sichtbar machen. Die längenmäßige Differenz zwischen den Nullpunkten oder den Höchstwerten der beiden Komponenten entspricht dann dem Phasenwinkel.

7. Messung von Impedanzen

Die Messung von beliebigen Impedanzen kann mit der Anordnung nach Bild 89 erfolgen. Die Impedanz $\mathfrak{R}$ wird aus dem Verhältnis U/J ermittelt. Aus der Leuchtschirmfigur Bild 90 ergibt sich demnach

$$\mathfrak{R} = y/x \qquad (21)$$

Impedanz- und Phasenmessungen können also, wie man sieht, gleichzeitig durchgeführt werden. Die Bestimmung von Wirk- und Blindanteil der Impedanz stößt dann bei bekannten Phasenwinkeln auf keine weiteren Schwierigkeiten.

8. Bestimmung von Kondensatorverlusten

An sich könnte man genau so vorgehen, wie es in Absatz 7 gezeigt wurde. Da jedoch Kondensatoren meist nur sehr kleine Verluste aufweisen, empfiehlt sich eine Schaltung nach Bild 91. Die Meßspannung U wird an die Reihenschaltung aus einem hochwertigen, praktisch verlustfreien Normalkondensator C_n und dem zu prüfenden Kondensator C_x gelegt. Sind dessen Verluste ebenfalls vernachlässigbar klein, so erhält man Phasengleichheit der Spannungen an C_x und C_n und damit auf dem Leuchtschirm einen Strich, denn die zugehörigen Spannungen liegen, entsprechend der Schaltung, je an einem Plattenpaar. Hat C_x größere Verluste, so bildet sich eine Ellipse, deren Flächeninhalt ein Maß für die Verluste darstellt.

9. Bestimmung von Spulenverlusten

Bei der Bestimmung von Spulenverlusten kann man genau so vorgehen wie bei der Bestimmung von Kondensatorverlusten. An Stelle der Kondensatoren treten in Bild 91 eine möglichst verlustfreie Normalspule und die zu untersuchende Induktivität. Allerdings muß beachtet werden, daß größere Spulen mehr Windungen, also auch grundsätzlich einen höheren Wirkwiderstand haben.

Sowohl bei der Bestimmung von Kondensator- als auch von Spulenverlusten ist die Frequenzabhängigkeit der Katodenstrahlröhre von großem Vorteil. Man kann daher die Messungen bei beliebigen Frequenzen durchführen und auf diese Weise die Frequenzabhängigkeit der Verluste ermitteln. Es werden also nicht nur Kupfer-, sondern auch dielektrische Verluste, Eisenverluste usw. bei jeder beliebigen Frequenz erfaßt.

10. Bestimmung von Blindkomponenten ohmscher Widerstände

Ausgangspunkt ist wiederum die Schaltung Bild 91. An Stelle des Normalkondensators tritt ein ohmscher Widerstand mit möglichst kleinen Blindkomponenten, an Stelle des Kondensators C_x der zu untersuchende Widerstand. Hat dieser keine größeren Blindkomponenten als der Normalwiderstand, so ergibt sich als Leuchtschirmfigur wieder ein Strich. Sind die Blindkomponenten größer, so entsteht eine mehr oder weniger breite Ellipse. Allerdings ist das auch der Fall, wenn die Blindkomponenten kleiner als die des Normalwiderstandes sind. Die Ellipse hat dann einen anderen Umlaufsinn. Bei dem Aufbau der Schaltung muß außerdem auf absolut gleiche Induktivität und Kapazität der Zuleitungen geachtet werden, da die zu messenden schädlichen Blindkomponenten sehr klein sind und in die Größenordnung der entsprechenden Werte der Zuleitungen kommen. Das Verfahren erfordert also einiges Experimentiergeschick. Ferner liegt natürlich eine erhebliche Frequenzabhängigkeit vor; es können sich Resonanzerscheinungen ausbilden, da sowohl Induktivitäten als auch Kapazitäten vorkommen. Man muß also die Meßfrequenz sorgsam auswählen, d. h. entweder sehr über- oder sehr unterfrequent arbeiten.

11. Untersuchung von Leitungen

Die Wirkverluste von Kabeln oder Freileitungen lassen sich grundsätzlich nach einem der vorstehend beschriebenen Verfahren bestimmen.

Besondere Bedeutung hat die Feststellung von Einschwingvorgängen, Resonanzerscheinungen, Wanderwellen usw. Die einzelnen hierfür üblichen Methoden werden im Abschnitt II dieses Kapitels besprochen.

Sehr wichtig ist die Möglichkeit einer genauen Fehlerortsbestimmung mit Hilfe des Katodenstrahloszillografen. Es sind zwar bereits verschiedene auf

anderer Grundlage beruhende Meßverfahren für diesen Zweck entwickelt worden; die oszillografische Methode ist jedoch verhältnismäßig einfach und sehr übersichtlich. Sie beruht auf dem Gedanken, daß ein kurzzeitiger Spannungsstoß, auf den Anfang einer homogenen Leitung gegeben, an dieser mit endlicher Geschwindigkeit entlangläuft, bis er auf eine Stoßstelle trifft. Dort wird er dann reflektiert und läuft wieder zum Leitungsanfang zurück [A 46].

Stoßstellen liegen immer dann vor, wenn an einer Stelle der Leitung plötzlich ein Widerstand auftritt, der vom Wert des Wellenwiderstandes der Leitung abweicht. Wenn beispielsweise das Leitungsende leerläuft oder kurzgeschlossen ist, haben wir eine Stoßstelle und bekommen demnach eine Reflexion. Dasselbe tritt auf, wenn die Leitung an irgendeiner Stelle infolge eines Defektes kurzgeschlossen oder unterbrochen ist. Diese Tatsache wird zur Messung der Entfernung bis zum Fehlerort ausgenützt. Man verwendet nach Bild 92 einen Impulsgenerator G, der Rechteckimpulse mit der Grundfrequenz f_0 erzeugt. Mit der Grundfrequenz ist ein Kippgerät K synchronisiert, das die Zeitablenkung für den Oszillografen liefert. Der Rechteckimpuls wird auf den Kabelanfang gegeben und erzeugt gleichzeitig auf dem Schirm der Oszillografenröhre eine Zacke, die den Anfangsimpuls darstellt. Der Rechteckstoß läuft nun zum Fehlerort und von dort wieder zum Kabeleingang zurück. Am Eingang erzeugt er einen zweiten Spannungsstoß an der Oszillografenröhre, der sich — der Laufzeit entsprechend — in einem gewissen längenmäßigen Abstand vom Eingangsimpuls befindet. Diese Längendifferenz auf dem Leuchtschirm ist ein unmittelbares Maß für die Entfernung zwischen Kabelanfang und Fehlerort, konstante Impulsfolgefrequenz f_0 und konstante Laufzeit längs des Kabels vorausgesetzt. Die Größe von f_0 muß natürlich so gewählt werden, daß die in Betracht kommenden Entfernungen richtig erfaßt werden.

Das hier erwähnte Laufzeitverfahren findet nicht nur in der Kabeltechnik, sondern ganz allgemein zur Entfernungsbestimmung auf drahtlosem Wege steigende Anwendung. Das in der Tagespresse oft besprochene und leider vorzugsweise für Kriegszwecke verwendete „Radar" beruht auf denselben Vorgängen. Wir kommen darauf später noch zurück.

Der Katodenstrahloszillograf findet in der Leitungstechnik weitere Anwendungen, und zwar vorzugsweise im Dezimeter- und Zentimeterwellengebiet. Auch hiervon wird noch die Rede sein.

12. Aufnahme von Magnetisierungskurven

Zur Aufnahme von Magnetisierungskurven und vollständigen Hystereseschleifen ist der Katodenstrahloszillograf vorzüglich geeignet. Diese Kurven geben bekanntlich Aufschluß über die magnetischen Eigenschaften von Eisensorten und stellen den Zusammenhang zwischen der Felddichte $\mathfrak{B}$ und dem Magnetisierungsstrom J dar. Es kommt also darauf an, eine Schaltung

aufzubauen, mit der diese beiden Größen gleichzeitig auf den Leuchtschirm geschrieben werden können.

In Bild 93 ist eine solche Anordnung dargestellt. Der Eisenkern E, der geprüft werden und nach Möglichkeit ganz in sich geschlossen sein soll, wird mit zwei Spulen L_1 und L_2 bewickelt. Durch L_1 muß ein möglichst sinus-

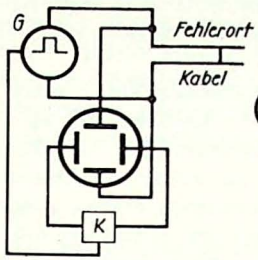


Bild 92: Schaltung zur Fehlerortsbestimmung

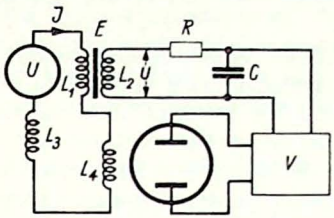


Bild 93: Schaltung zur Aufnahme von Magnetisierungskurven

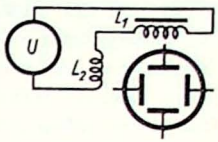


Bild 94: Einfache Anordnung zur Aufnahme von Magnetisierungskurven

förmiger Magnetisierungsstrom fließen, der von der Stromquelle mit der Spannung U erzeugt wird. Deshalb liegt noch eine weitere Spule L_3 im Stromkreis, deren Induktivität groß gegenüber L_1 sein muß und die kein Eisen enthalten darf. Dann wird die Kurvenform des Stromes hauptsächlich durch L_3 bestimmt, bleibt also sinusförmig. Schließlich sehen wir noch eine Spule L_4, die vom gleichen Strom durchflossen wird und zur Ablenkung des Katodenstrahls dient. Auf diese Weise wird die eine Ablenkkomponente, die dem Magnetisierungsstrom J proportional ist, gewonnen.

Die durch Induktion in L_2 erzeugte Spannung ist der Felddichte $\mathfrak{B}$ proportional; sie liefert also die zweite Ablenkkomponente. Da zwischen Strom J und Spannung U eine Phasenverschiebung von 90^0 besteht, ist ein aus R und C bestehender Phasenschieber vorgesehen, der diese Phasendrehung kompensiert. Um keine Rückwirkung auf den Primärkreis zu erhalten, muß R sehr groß gegen den kapazitiven Widerstand von C sein. Die an C auftretende Spannung ist daher relativ klein und muß in einem Verstärker V entsprechend heraufgesetzt werden, bevor sie den Vertikalplatten des Oszillografen zugeführt werden kann.

Unter dem Einfluß der beiden Ablenkkomponenten bildet sich auf dem Schirm die Hysteresekurve ab [A 47, 48]. Um eine brauchbare Figur zu erhalten, muß man für eine entsprechende Größe der Ablenkung und für ein zweckmäßig gewähltes gegenseitiges Verhältnis sorgen. In vielen Fällen wird es schwer sein, mit den zur Verfügung stehenden Stromquellen einen hinreichend großen Magnetisierungsstrom zu erhalten. Man kann dann durch Einschalten eines Kondensators in den Primärkreis dafür sorgen, daß Serienresonanz eintritt, womit eine entsprechende Erhöhung des Primär-

stroms verbunden ist. Da man gewöhnlich die Netzfrequenz zur Ablenkung verwendet, sind relativ große Kondensatoren erforderlich.

Eine einfachere, aber nicht so leistungsfähige Schaltung ist in Bild 94 wiedergegeben. Die das zu prüfende Eisen enthaltende Spule L_1 wird mit einer eisenlosen Spule L_2 in Reihe geschaltet. Die Ablenkung durch L_2 ist dem Magnetisierungsstrom, die Ablenkung durch L_1 annähernd der Induktion proportional, jedoch nur, wenn der Eisenkern einigermaßen geschlossen ist.

Die auf die beschriebene Weise erhaltenen Hysteresekurven können in bekannter Form ausgewertet werden und liefern alle Angaben, die für die Beurteilung der magnetischen Eigenschaften von Interesse sind, z. B. Remanenz, Koerzitivkraft, Sättigung, Permeabilität und vor allem die Eisenverluste, die bekanntlich der von der Schleife umschlossenen Fläche proportional sind. Man kann auch in den Primärstromkreis der Schaltung Bild 93 eine Gleichstrom-Vormagnetisierung einführen und deren Einfluß auf die Form der Hysteresekurve untersuchen.

13. Durchschlags- und Überschlagsprüfungen

Bei Prüfungen fester, flüssiger oder gasförmiger Stoffe auf ihre Durchschlagsfestigkeit kommt die Trägheitslosigkeit des Katodenstrahls ganz besonders zur Geltung, wenn man die Oszillografenröhre als Anzeiger für die Spannung an dem Probestück verwendet. Bisher waren hierfür relativ träge Zeigerinstrumente üblich.

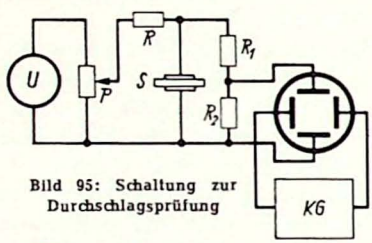


Bild 95: Schaltung zur Durchschlagsprüfung

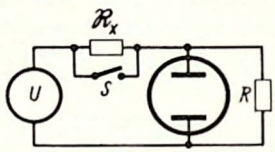


Bild 96: Einfache Meßschaltung für Widerstände aller Art

Bild 95 zeigt die Schaltung. Die Hochspannung U kann an einem Potentiometer P abgegriffen werden (bei sehr hohen Spannungen wird man zweckmäßigerweise einen Regeltransformator verwenden, der gegebenenfalls noch auf einen Spannungsvervielfacher arbeitet). Die an P abgegriffene Spannung wird über einen relativ hochohmigen Widerstand R dem Prüfstück S zugeführt. Parallel zu diesem liegt ein Spannungsteiler R_1 R_2, von dem ein Spannungsbetrag den Vertikalplatten der Oszillografenröhre zugeführt wird. Die Horizontalplatten erhalten zweckmäßigerweise eine Kippspannung oder eine andere Wechselspannung, damit der Leuchtfleck nicht einbrennt.

Die horizontale Leuchtlinie folgt der Potentiometerregelung absolut trägheitslos. Setzt der Durchschlag ein, so sinkt die Linie plötzlich in eine tiefere Lage, da an R ein Spannungsabfall auftritt. Gegenüber der Anzeige mit Zeigerinstrument läßt die Katodenstrahlröhre das Auftreten von Vorentladungen, Sprüherscheinungen, Ableitungsströmen usw. sofort durch entsprechende Schwankungen der Leuchtflecklage erkennen, was sehr oft wertvolle Rückschlüsse auf die elektrischen Vorgänge erlaubt. Man kann so bei einiger Übung die Durchschlagsspannung bis zu einem gewissen Grade vorausbestimmen, so daß man seine Aufmerksamkeit auf den zu erwartenden Durchschlag konzentrieren kann. Die Meßgenauigkeit wird durch dieses psychologische Moment nicht unwesentlich erhöht.

14. Sonstige Anwendungen

Die bisher besprochenen Verfahren stellen natürlich nur einen kleinen Ausschnitt aus der Vielzahl der elektrotechnischen Anwendungsmöglichkeiten dar. Immer, wenn es auf ein trägheitsloses Anzeigegerät ankommt, wird man den Katodenstrahloszillografen mit Vorteil verwenden können, selbst dann, wenn die Aufnahme von Oszillogrammen nicht unmittelbar erforderlich ist. So ersetzt die Oszillografenröhre in vielen Fällen ein Röhrenvoltmeter, wodurch die Messung von Kapazitäten, Induktivitäten und ohmschen Widerständen mit Hilfe von Stromspannungsmessungen möglich wird (siehe Abschnitt 7). In Bild 96 ist eine einfache, besonders für viele, schnell aufeinanderfolgende Messungen geeignete Schaltung dargestellt. Der zu messende Widerstand $\mathfrak{R}_x$ wird mit einem parallel zur Oszillografenröhre liegenden Widerstand R zu einem Spannungsteiler vereinigt. Man schließt zunächst den Schalter S kurz und bestimmt die Leuchtflecklage. Beim Öffnen von S tritt an $\mathfrak{R}_x$ ein Spannungsabfall auf, so daß der Fleck eine andere Lage annimmt. Die Größe der Fleckverschiebung ist ein Maß für die Größe von $\mathfrak{R}_x$, so daß man den Leuchtschirm mit einer Eichskala in Kapazitäts-, Selbstinduktions- oder Widerstandswerten versehen kann. Sind Frequenz und Spannung der Meßstromquelle konstant, so ist bei fortlaufenden Messungen eine Betätigung von S natürlich nicht mehr erforderlich.

Auch in Brückenschaltungen findet der Katodenstrahloszillograf gern Verwendung, besonders dann, wenn ein elektroakustischer Indikator wegen starker Raumgeräusche nicht am Platze ist. Sehr bewährt hat sich in diesem Zusammenhang übrigens das sogenannte Magische Auge, das von den Rundfunkempfängern her als Abstimmanzeiger bekannt ist. Es findet in vielen Meßschaltungen bevorzugt Anwendung.

In der Starkstromtechnik und Hochspannungstechnik eröffnen sich dem Katodenstrahloszillografen zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten, von denen nachstehend nur einige wenige angedeutet werden sollen. So läßt sich z. B.

in einfacher Weise die Symmetrie eines Drehstromnetzes dadurch kontrollieren, daß man drei um 120° versetzte Ablenkspulen am Hals einer Katodenstrahlröhre anbringt. Jede Spule steht mit einer Phase des Drehstromnetzes in Verbindung. Es bildet sich auf dem Leuchtschirm bei absoluter Symmetrie ein Kreis, der bei Unsymmetrien gewisse Verformungen erleidet, aus denen man Rückschlüsse auf die Art der Unsymmetrie ziehen kann. Die Spulen selbst müssen natürlich elektrisch absolut gleichartig sein.

Auch zur Untersuchung der Netzspannungen auf ihren Oberwellengehalt oder bezüglich überlagerter Fremdspannungen ist die Oszillografenröhre bestens geeignet. Näheres hierüber haben wir bereits auf Seite 81 dargelegt. Geübte Beobachter schließen aus dem zeitlichen Verlauf der Netzspannung sofort auf Störungen, die durch unruhige Kollektoren, Quecksilberdampfgleichrichter usw. verursacht werden [A 49].

Ein besonderes Anwendungsgebiet findet der Oszillograf in der Hochspannungstechnik bei der Untersuchung von Wanderwellen und Schaltvorgängen. Allerdings reicht wegen der hohen Geschwindigkeit, mit der sich diese Erscheinungen meistens abspielen, die Niederspannungsoszillografenröhre gewöhnlich nicht aus, sondern man verwendet den Oszillografen mit kalter Katode. Die diesbezüglichen Anordnungen sind für den Radiotechniker von geringerem Interesse. Das gilt auch für die Untersuchung von Ölschaltern, Hochspannungstransformatoren usw.

II. Anwendungen in der Hoch- und Niederfrequenztechnik

Die Anwendungsgebiete in der Hoch- und Niederfrequenztechnik interessieren den Radiotechniker am meisten. In der einschlägigen Literatur finden sich zahlreiche Verfahren für Sonderzwecke, von denen wir nur die grundsätzlich wichtigen herausgreifen können. Auch handelt es sich in vielen Fällen nur um Variationen an sich bekannter Methoden.

Die Bemessung der in den nachfolgend beschriebenen Anordnungen vorkommenden Schaltelemente richtet sich sehr nach den jeweiligen elektrischen Größenordnungen. Wir bringen daher nur in solchen Fällen, in denen die Bemessung unmittelbar in Zusammenhang mit dem Oszillografen steht, entsprechende Hinweise.

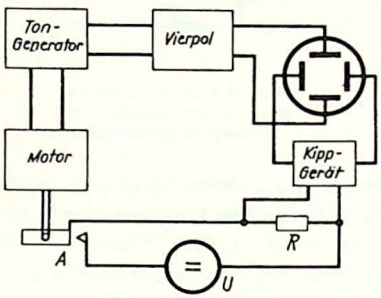
1. Darstellung von Frequenzkurven im Niederfrequenzgebiet

Nach den üblichen Verfahren wird der Frequenzgang eines Vierpols, z. B. eines Verstärkers, eines Transformators oder einer Siebkette, mit Hilfe eines von Hand in seiner Frequenz veränderlichen Tongenerators und eines an den Vierpolausgang angeschlossenen Röhrenvoltmeters aufgenommen. Dieses Verfahren ist umständlich und vor allem dann unwirt-

schaftlich, wenn laufend Frequenzkurven aufzunehmen oder zu überwachen sind, z. B. bei der Serienfabrikation.

Die Katodenstrahlröhre ermöglicht es, den Meßvorgang wesentlich abzukürzen. Man kann nämlich den Frequenzgang unmittelbar auf dem Leuchtschirm sichtbar machen und daher auf die punktweise Aufnahme der Kurve verzichten.

Die grundsätzliche Anordnung ist in Bild 97 wiedergegeben. Wir benötigen einen Tongenerator, dessen Drehkondensator keinen Anschlag hat und von einem Motor angetrieben werden kann. Am besten eignen sich Schwebungsgeneratoren. Der Frequenzverlauf in Abhängigkeit vom Drehwinkel soll möglichst linear sein, etwa so, wie es in Bild 98 dargestellt ist.



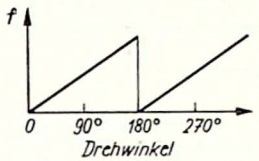


Bild 98: Frequenzverlauf des Tongenerators

Links Bild 97: Anordnung zur Aufnahme von Frequenzkurven, mechanisches Verfahren

Die Ausgangsspannung des Tongenerators wird in bekannter Weise auf den Eingang des Vierpols geschaltet, dessen Ausgangsspannung an den Vertikalplatten der Oszillografenröhre liegt. Die Horizontalplatten sind mit einem Kippgerät verbunden, das mit der Umlauffrequenz des Motors synchronisiert ist. Zu diesem Zweck ist beispielsweise nach Bild 97 ein Unterbrecher A vorgesehen, der jeweils nach einer halben Umdrehung (180°) Kontakt macht und demnach von der Stromquelle U am Widerstand R einen Spannungsimpuls erzeugt, der den Synchronisierklemmen des Kippgeräts zugeleitet wird. Um ein einigermaßen flimmerfreies Bild zu erhalten, sollen mindestens 25 Bilder je Sekunde aufgezeichnet werden, was einer minutlichen Motordrehzahl von 1500 entspricht.

Da jeder Stellung des Drehkondensators eine bestimmte Frequenz und dieser wiederum eine bestimmte Kippspannungsphase zugeordnet ist, erhält man auf dem Leuchtschirm ein stehendes Bild der Frequenzkurve, allerdings nur in Form einer Hüllkurve, da die Meßfrequenz mit aufgezeichnet wird. Will man das vermeiden, so muß man die Spannung gleichrichten und die so entstehende Gleichspannungsschwankung den Ablenkplatten zuführen. Dabei ist natürlich auf eine gleichstromdurchlässige Kopplung zu achten.

Um eine wirklich unverfälschte Frequenzkurve zu erhalten, muß die Eingangsspannung am Vierpol, also die Ausgangsspannung des Tongenera-

tors, stets konstant bleiben. Bei guten Schwebungsgeneratoren ist das im allgemeinen ohnehin der Fall [A 50].

Das beschriebene Verfahren setzt eine ziemlich umständliche mechanische Einrichtung voraus. In manchen Fällen kann man auch folgendermaßen vorgehen: Man verwendet eine Oszillografenröhre mit nachleuchtendem Schirm und setzt auf die Drehkondensatorachse ein Potentiometer, an dem eine

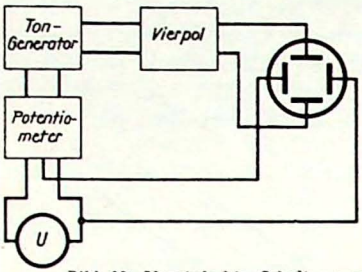


Bild 99: Vereinfachte Schaltung zur Aufnahme von Frequenzkurven

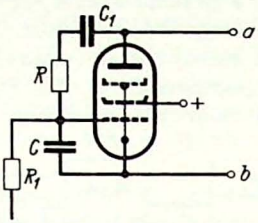


Bild 100: Erste Schaltung einer Elektronenröhre als steuerbare Induktivität

beliebige Gleichspannung abgegriffen werden kann. Diese Spannung wird nach Bild 99 den Horizontalplatten zugeführt. Dreht man nun von Hand die Kondensatorachse gleichmäßig schnell durch, so wird die Frequenzkurve einmalig auf den Leuchtschirm gezeichnet und bleibt dort während der Dauer des Nachleuchtens bestehen, so daß sie schnell ausgewertet werden kann. Selbstverständlich kann der Vorgang auch fotografisch fixiert werden, indem man vor dem Schirm eine Kamera mit griffbereitem Verschluß aufstellt, den Verschluß öffnet und den Kondensator durchdreht. In diesem Fall ist ein Nachleuchtschirm natürlich nicht erforderlich.

Die geschilderten Methoden haben den Nachteil, daß sie sich auf mechanische Einrichtungen stützen. Im nächsten Abschnitt wird ein Verfahren beschrieben, das auf rein elektrischem Wege eine stetige, beliebig schnelle Frequenzänderung herbeizuführen gestattet. Seine Anwendung kann auch auf niederfrequente Untersuchungen ausgedehnt werden, worauf noch besonders hingewiesen wird.

2. Darstellung von Frequenzkurven im Hochfrequenzgebiet

Das im vorigen Abschnitt beschriebene Verfahren der mechanischen Frequenzänderung kann auch auf die Aufnahme von Kurven im Hochfrequenzgebiet angewendet werden. Wir besitzen jedoch in der als veränderlicher Blindwiderstand geschalteten Elektronenröhre ein Hilfsmittel, um die Frequenzänderung eines Oszillators trägheitslos und mit relativ geringem Aufwand durchführen zu können. Man macht hiervon in immer größerem Umfang Gebrauch, und die mit diesem Verfahren verbundenen Vorteile sind so zahlreich, daß es der Radiotechniker möglichst oft anwenden sollte.

Es gibt grundsätzlich vier Möglichkeiten, um eine Röhre als steuerbare Impedanz zu schalten. Die erste ist in Bild 100 dargestellt. Die Röhre wirkt in dieser Schaltung wie eine Induktivität, d. h. der von der Anode zur Katode fließende Strom muß der Spannung um 90° nacheilen. Legen wir eine Spannung an die Klemmen a und b, so fließt ein Strom durch die Reihenschaltung von C_1, R und C. Der Kondensator C_1 ist so groß, daß sein Wechselstromwiderstand vernachlässigt werden kann. Er dient nur zur Abriegelung der Gleichspannung vom Gitter. R ist hochohmig gegenüber dem kapazitiven Widerstand C, so daß der Strom praktisch mit der zwischen a und b liegenden Spannung in Phase ist. Die Spannung an C eilt dem Strom um 90° nach und infolgedessen auch der Anodenstrom in der Röhre. Demnach eilt dieser gegenüber der Anodenspannung (zwischen a und b) um 90° nach, d. h. die Röhre wirkt wie eine Induktivität vom Werte L. Diese läßt sich berechnen zu

$$L \sim \frac{C \cdot R}{S} \qquad [H] \qquad (22)$$

hängt also außer von C und R auch von der Steilheit S der Röhre ab. Die Steilheit läßt sich jedoch durch die Steuergitterspannung ändern. Daraus folgt, daß man den Wert L durch Variieren der Steuergitterspannung, z. B. über R_1 in Bild 100, beeinflussen kann. Schaltet man nun die Röhre parallel zum Schwingungskreis eines selbsterregten Senders, so ändert sich natürlich dessen Frequenz gleichzeitig mit L bzw. mit der Steuergitterspannung an der Röhre.

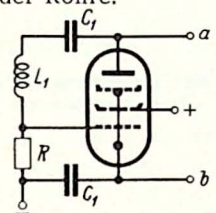


Bild 101: Zweite Schaltung einer Elektronenröhre als steuerbare Induktivität

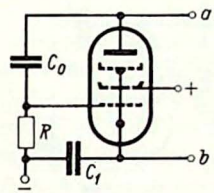


Bild 102: Erste Schaltung einer Elektronenröhre als steuerbare Kapazität

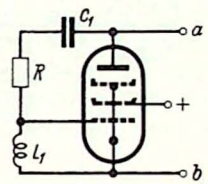


Bild 103: Zweite Schaltung einer Elektronenröhre als steuerbare Kapazität

Die drei weiteren Möglichkeiten sind in den Bildern 101, 102 und 103 dargestellt. In Bild 101 wirkt die Röhre ebenfalls als Induktivität vom Wert

$$L \sim \frac{L_1}{RS} \qquad [H] \qquad (23)$$

Die Schaltung nach Bild 102 wirkt als steuerbare Kapazität vom Wert

$$C \sim C_0 \cdot R \cdot S \qquad [F] \qquad (24)$$

und die Schaltung nach Bild 103 ebenso. Die steuerbare Kapazität hat die Größe

$$C \sim \frac{L_1 \cdot S}{R} \qquad [F] \qquad (25)$$

Für die Schaltungen können beliebige Hochfrequenzpentoden verwendet werden, vorausgesetzt, daß sich die Steilheit durch die Gitterspannung um den erforderlichen Betrag verändern läßt.

Wir bleiben bei der Schaltung nach Bild 100 und sehen in Bild 104 die Zusammenschaltung der Steuerröhre V_1 mit einem selbsterregten Sender mit der Röhre V. Der Senderschwingkreis ist durch $C_0\,L_0$, die Rückkopplungsspule durch L_a dargestellt. Wechselstrommäßig liegt dem Schwingungskreis die Röhre V_1 parallel. Die Werte C_1, R und C entsprechen denen des Bildes 100. Die durch die Röhre mit der Induktivität L erzielbare Verstimmung $\Delta\omega$ kann berechnet werden. Sie beträgt

$$\Delta\omega = 0{,}5 \cdot \frac{L_0}{L} \cdot \omega \qquad [\mathrm{Hz}] \qquad (26)$$

wobei ω die Kreisfrequenz des Schwingungskreises $L_0\,C_0$ bedeutet. Mit Hilfe der angegebenen einfachen Formeln lassen sich also alle wichtigen Werte berechnen.

Will man die Schaltung nach Bild 104 nun zur Erzeugung von Frequenzkurven oder auch Resonanzkurven mit Hilfe des Katodenstrahloszillografen ausnutzen, so braucht man die Röhre V_1 lediglich mit derselben Kippschwingung zu steuern, die man zur Zeitablenkung des Oszillografen heranzieht. Dann erhält man eine synchron mit der Kippschwingung gewobbelte Senderfrequenz, die man auf den zu untersuchenden Vierpol geben kann,

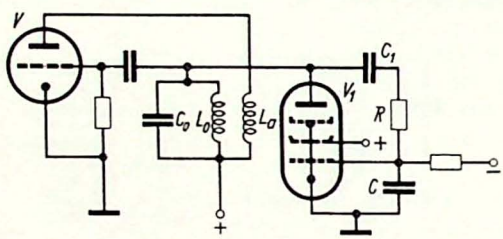


Bild 104: Schaltung zur Frequenzwobbelung

dessen Ausgang wieder mit den Vertikalplatten der Oszillografenröhre verbunden ist. Die entsprechende Schaltung zeigt Bild 105. Die Röhren V und V_1 entsprechen den Röhren der Schaltung nach Bild 104. Die gewobbelte Frequenz wird über die Koppelspule L_k dem Vierpol zugeführt. Zweckmäßigerweise steuert man mit der Kippspannung nicht das Steuergitter, sondern das Bremsgitter, um Rückwirkungen zu vermeiden. Die Kippspannung kann an einem hochohmigen Potentiometer P in beliebiger Höhe abgegriffen werden. Der volle Wert wird den Horizontalplatten der Katodenstrahlröhre zugeführt [A 51].

Das soeben beschriebene Verfahren hat in der Radiopraxis eine große Bedeutung erlangt, da es mit einfachen und übersichtlichen Mitteln und Schaltungen zu verwirklichen ist. In der Reparaturwerkstatt dient es vorzugsweise zum Sichtbarmachen von Resonanzkurven von Schwingungs-

kreisen und Bandfiltern, die sonst mühsam punktweise mit Meßsender und Röhrenvoltmeter aufgenommen werden müßten. In solchen Fällen gestattet das Verfahren eine erhebliche Abkürzung der Arbeitszeit. Das gilt insbesondere dann, wenn Zwischenfrequenz-Bandfilter genau abgeglichen werden sollen, was bisher in der Form vorgenommen wurde, daß man den ersten Kreis stark dämpfte oder verstimmte, während man den zweiten ab-

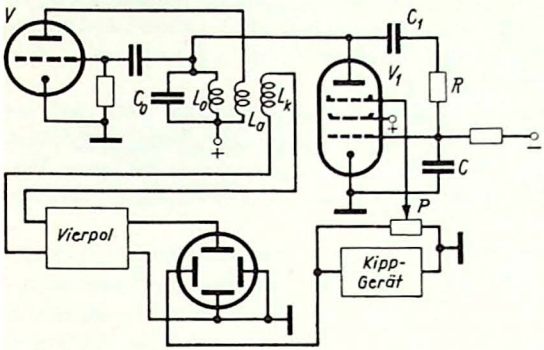


Bild 105: Vollständige Schaltung zur Aufnahme von Frequenzkurven mit steuerbaren Elektronenröhren

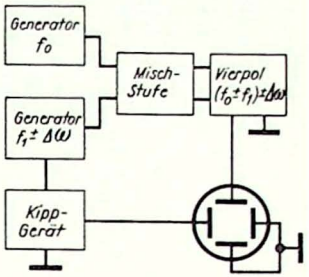


Bild 106: Wobbeleinrichtung zur Erzeugung veränderlicher Frequenzen bei konstanter Verstimmung

glich. Darauf wiederholte man dieselbe Arbeit mit vertauschten Kreisen. Das war nicht nur mühsam, sondern auch relativ ungenau. Heute kann man mit dem Frequenzwobbler und dem Katodenstrahloszillografen die Resonanzkurve sichtbar machen und sofort jede elektrische Änderung feststellen, die durch Regeln an den Trimmern oder Eisenkernen der Filter hervorgerufen wird [A 52]. In großen Werkstätten, in denen täglich viele Abgleicharbeiten an Superhets vorkommen, macht sich die oszillografische Methode dank ihrer Schnelligkeit und Genauigkeit bald bezahlt.

Sehr wichtig ist die richtige Ankopplung des zu untersuchenden Kreises an den Wobbelsender. Sie soll so lose sein, daß das Meßobjekt keine Dämpfung oder Verstimmung erfährt. Dasselbe gilt natürlich auch hinsichtlich des Anschlusses an die Ablenkplatten des Oszillografen.

Wie Gl. (26) zeigt, ist die durch die gesteuerte Röhre hervorgerufene Frequenzänderung unmittelbar von der Senderfrequenz ω abhängig. Man wünscht jedoch im allgemeinen einen stets konstanten absoluten Verstimmungsbetrag $\Delta\omega$ unabhängig von der Senderfrequenz, deren Wert dagegen möglichst weit veränderlich sein soll, um die Einrichtung universell verwenden zu können. In diesem Fall bedient man sich nach Bild 106 des Transponierungsprinzips. Man mischt die feste Frequenz f_0 eines kleinen Oszillators mit der durch ein Kippgerät und eine Steuerröhre nach Bild 105 gewobbelten Frequenz $f_1 \pm \Lambda\omega$ in einer Mischstufe und erhält eine Schwebungsfrequenz $(f_0 \pm f_1) \pm \Delta\omega$, wobei man gewöhnlich nur den Differenzwert

ausnützt. Durch Ändern der Frequenz f_0 von Hand kann man dann bei zweckmäßiger Bemessung ein breites Frequenzband mit stets konstanter Wobbelung $\Delta\omega$ bestreichen. Man kann sogar $f_0 = f_1$ machen und erhält dann am Ausgang lediglich $\Delta\omega$. Die Verstimmung kann z. B. von 0...10 000 Hz reichen. Man hat dann einen Heultongenerator, der letzten Endes die in Bild 97 dargestellte mechanische Anordnung zur Aufnahme niederfrequenter Frequenzkurven ersetzt, und kann auf diese Weise tatsächlich alle im Rundfunkgebiet wichtigen Frequenzen erfassen. Natürlich müssen die beiden Oszillatoren und die Mischstufe richtig dimensioniert sein, um den Anforderungen der Praxis zu genügen.

Die Größe der Kippfrequenz ist nicht sehr bedeutungsvoll. Man soll sie jedoch nicht größer wählen, als es zum Erzeugen ruhiger Bilder unbedingt erforderlich ist. Der Rücklauf der Kippschwingungen löst sonst gern Einschwingvorgänge im gesteuerten Senderkreis aus, die das erhaltene Oszillogramm verfälschen können.

Es gibt heute Frequenzwobbler der verschiedensten Form, wobei auch das Einblenden sog. Frequenzmarken, die genaue Frequenzwerte abzulesen gestatten, von Bedeutung ist. Grundsätzlich eignet sich hierfür ein möglichst genauer Hilfsgenerator, dessen Spannung mit der gewobbelten Spannung überlagert wird. Bei Frequenzgleichheit wird die Differenzfrequenz plötzlich Null, was sich als senkrechte Marke im Leuchtschirmbild äußert. Am Hilfssender wird der zugehörige Frequenzwert abgelesen.

In diesem Zusammenhang sei erwähnt, daß in letzter Zeit ein elektromagnetisch zustande kommender Wobbeleffekt größere Bedeutung erlangt hat. Hierbei wird die Schwingkreisspule des Oszillators in einen Eisenkern mit zusätzlichen Wicklungen gebettet. Die periodische Veränderung des Stromes in dieser Wicklung führt zu einer Induktivitätsänderung.

3. Aufnahme von Röhrenkennlinien

Die oszillografische Aufnahme von Röhrenkennlinien ist in der Radiotechnik nicht so populär geworden wie die Darstellung von Frequenzkurven. Trotzdem vermag der Radiopraktiker aus derartigen Kennlinien großen Nutzen zu ziehen, weil er dadurch einen wesentlich tieferen Einblick erhält. Das gilt auch für Transistorkennlinien, die sich nach den gleichen Prinzipien wie Röhrenkennlinien abbilden lassen und gerade die heute noch erforderliche Überwachung jedes Einzelexemplars bei der Fabrikation sehr erleichtern.

Man kann mit dem Oszillografen jede statische und dynamische Röhrenkennlinie, angefangen von der U_g/J_a-Kennlinie bis zur U_{sg}/J_{sg}-Kennlinie, sichtbar machen. Wir behandeln an Hand von Bild 107 den Grundgedanken und setzen uns zum Ziel, die Gitterspannungs-Anodenstromkennlinie aufzunehmen. Mit einem Transformator T wird die Netzwechselspannung von der gesamten Schaltung galvanisch getrennt. Ein Teil der Sekundärspan-

nung wird vom Potentiometer P abgegriffen und dem Steuergitter der zu untersuchenden Röhre V_1 zugeführt. Die Gittervorspannung entsteht in gewöhnlicher Weise als Spannungsabfall am Katodenwiderstand R_k, der mit einem für 50 Hz genügend großen Kondensator C_k überbrückt wird. Die volle Sekundärspannung liegt an den Horizontalplatten der Oszillografenröhre; sie liefert die Gitterspannungskoordinate des Oszillogramms, da sie der abgegriffenen Gitterwechselspannung proportional ist.

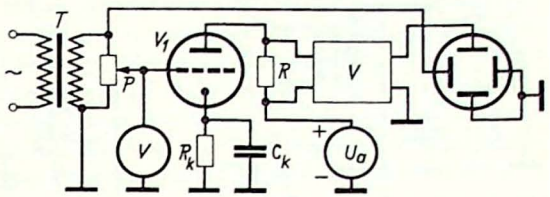


Bild 107: Schaltung zur Aufnahme von Anodenstrom-Gitterspannungs-Kennlinien

Der Anodenstrom durchfließt den Widerstand R, der so klein sein muß, daß praktisch noch die statische Röhrenkennlinie Gültigkeit hat. Deshalb ist der dem Anodenstrom proportionale Spannungsabfall an R meist so klein, daß er in einem Verstärker V heraufgesetzt werden muß. Die verstärkte Spannung wird nun den Vertikalplatten zugeführt und liefert die Anodenstrom-Koordinate des Oszillogramms.

Unter dem gleichzeitigen Einfluß der Gitterwechselspannung und der dem Anodenstrom proportionalen Spannung erhält man auf dem Leuchtschirm die gewünschte Kennlinie [A 53—55]. Es ist dabei allerdings zu beachten, daß zu gleichgroßen Horizontalabschnitten des Schirmbildes keineswegs gleichgroße Gitterspannungswerte gehören, denn die Ablenkspannung ist sinusförmig. Infolgedessen kann man durch richtige Wahl des Verhältnisses zwischen Gittervorspannung und Gitterwechselspannung dafür sorgen, daß für die Aussteuerung praktisch nur der geradlinige steile Teil der Sinuskurve herangezogen wird. Für genaue Messungen muß man die Gitterspannungswerte zahlenmäßig bestimmen und die Kennlinie gegebenenfalls auf einen linearen Abszissenmaßstab umzeichnen. Dadurch geht jedoch der Hauptvorteil, nämlich das unmittelbare Sichtbarmachen der unverzerrten Kennlinie, verloren. Wenn es daher auf absolut unverfälschte Kennlinien ankommt, muß man sich zu einer Schaltung entschließen, die an Stelle der Netzwechselspannung ein zeitlineares Kippgerät als Steuerspannungsquelle verwendet. Dann ist die Strahlgeschwindigkeit in horizontaler Richtung überall gleichgroß, so daß man einen linearen Gitterspannungsmaßstab erhält.

Sehr wichtig ist die richtige Bedienung und Einstellung. Man wird die Sekundärspannung des Transformators T in Bild 107 so wählen, daß etwa die Hälfte des Leuchtschirms in horizontaler Richtung ausgesteuert ist. Der Verstärkungsgrad des Verstärkers muß so bemessen sein, daß bei voller Aussteuerung der Röhre ein genügend großer Vertikalausschlag des Strahles

erfolgt. Ist das nicht der Fall, so übersteuert man in dem Bestreben, die Vertikalablenkung zu vergrößern, sehr leicht die Röhre V_1. Durch Regeln des Verstärkungsgrades von V gelingt es ohne weiteres, ein brauchbares Koordinatenverhältnis und damit eine einwandfreie Kennlinie aufzuzeichnen. Mit Hilfe der auf Seite 70 beschriebenen Vorrichtung kann man auch das Achsenkreuz der Kennlinie sichtbar machen oder gegebenenfalls fotografisch festhalten.

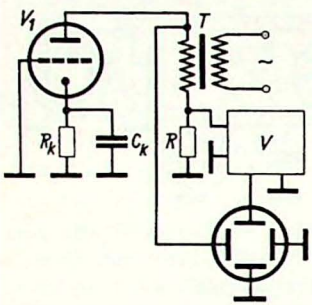


Bild 108: Schaltung zur Aufnahme der Anodenstrom-Anodenspannungs-Kennlinie

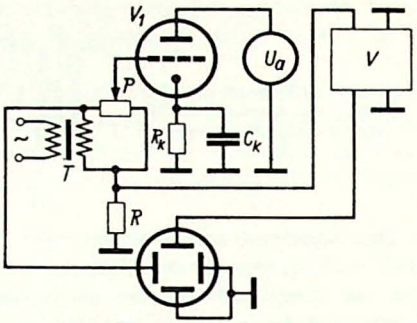


Bild 109: Schaltung zur Aufnahme der Gitterspannungs-Gitterstrom-Kennlinie

Bei der Aufnahme von anderen Röhrenkennlinien geht man beim Entwurf der Schaltungen stets in derselben Weise vor, d. h. man verwendet eine der Spannungskoordinate proportionale Spannung als Horizontalablenkung, eine dem Strom proportionale Spannung als Vertikalablenkung. Diese Spannung wird stets durch einen (in der Schaltung vernachlässigbaren) ohmschen Widerstand erzeugt. So ist in Bild 108 die Schaltung zur Sichtbarmachung der Anodenstrom-Anodenspannungs-Kennlinie angegeben. Als Anodenspannung dient die transformierte Netzwechselspannung, während die Gittergleichspannung durch R_k gegeben ist. In Bild 109 sehen wir eine Schaltung zur Aufnahme der Gitterstrom-Gitterspannungs-Kennlinie bei konstanter Anodengleichspannung.

In ähnlicher Weise lassen sich Schaltungen zur Aufnahme von Schirmgitter- oder Bremsgitterkennlinien entwerfen. Selbstverständlich kann man auch mit Hilfe von Zweistrahlröhren oder Elektronenröhrenschaltern gleichzeitig zwei Kennlinien schreiben, durch Helligkeitssteuerung bestimmte Spannungswerte markieren usw. Die denkbaren Variationen sind sehr zahlreich [A 56—59].

Will man dynamische Röhrenkennlinien aufnehmen, so muß der wirksame Wechselstromwiderstand in den Anodenkreis eingefügt werden. Das geschieht in den Bildern 107/109 einfach dadurch, daß man den kleinen Widerstand R durch den betreffenden Außenwiderstand ersetzt. Man erhält dann auf dem Leuchtschirm die Arbeitskennlinien in Form von Ellipsen, Kreisen

oder Strichen, je nach dem Charakter des Außenwiderstandes. Der Verstärker kann in den meisten Fällen fortfallen, weil die erzeugte Wechselspannung groß genug ist, um den Leuchtschirm auszusteuern.

Bei immer wiederkehrenden Aufnahmen von Röhrenkennlinien empfiehlt sich der Aufbau eines kleinen Zusatzgerätes, das ähnlich wie ein Röhrenprüfgerät verschiedene Fassungen für die wichtigsten Röhren, ferner die nötigen Überwachungsinstrumente, Umschalter usw. enthält. Das zugehörige Netzgerät soll nach Möglichkeit durch Glimmstrecken stabilisiert sein, damit evtl. Netzspannungsschwankungen ohne Einfluß bleiben. Es ist natürlich auch möglich, in ein bereits vorhandenes Röhrenprüfgerät die für die Kennlinienaufzeichnung erforderlichen Zusatzelemente mit einzubauen und durch geeignete Umschalter wirksam werden zu lassen. Auf diese Weise ergibt sich eine erhebliche Erweiterung der universellen Untersuchungsmöglichkeiten mit modernen Röhrenprüfgeräten. In Ladengeschäften z. B. kann man den an einer Röhrenprüfung interessierten Kunden gleichzeitig das Kennlinienbild der geprüften Röhren mit dieser Anordnung vor Augen führen, was ein nicht zu unterschätzendes werbetechnisches Moment bedeutet.

Daß die Darstellung von Röhrenkennlinien im Laboratorium größte Bedeutung hat, braucht wohl nicht weiter erörtert zu werden.

4. Untersuchung von Schwingungskreisen

Die Untersuchung von Schwingungskreisen kann mit Hilfe des Katodenstrahloszillografen wesentlich schneller und auch wesentlich gründlicher erfolgen als mit den sonst üblichen Verfahren. Eine der wichtigsten hierher gehörenden Methoden ist die Darstellung von Resonanzkurven in der ausführlich unter 2. beschriebenen Weise. Aus der Resonanzkurve lassen sich bekanntlich fast alle wichtigen Eigenschaften eines Schwingungskreises ableiten, allerdings nur dann, wenn die zugehörigen Werte auch zahlenmäßig gegeben sind. Es ist also eine genaue Eichung der Katodenstrahlröhre (in Frequenzwerten einerseits und Spannungswerten anderseits) nicht zu umgehen, wenn die Resonanzkurve für Schwingungskreisuntersuchungen wirklichen praktischen Wert haben soll. Dem Radiotechniker bietet sich hier ein reiches Betätigungsfeld im Ausfindigmachen einfacher Hilfsschaltungen, die eine zahlenmäßige Auswertung der Leuchtschirmbilder erlauben. Wenn irgend möglich, sollte man eine Demodulation der Hochfrequenzschwingungen vermeiden und die Hüllkurve der Schwingungen unmittelbar auswerten, weil selbst Gleichrichterdioden niemals so linear arbeiten, daß ihre Verzerrung vernachlässigbar klein wäre. Das führt natürlich zu verzerrten Resonanzkurven und damit zu Fehldeutungen. Nur dann, wenn der Oszillografeneingang für den Schwingungskreis eine unzulässig große Belastung darstellt — das ist insbesondere bei hohen Frequenzen der Fall —, kann man ausnahmsweise von der Demodulation Gebrauch machen.

Es gibt natürlich Fälle, in denen eine genaue Auswertung nicht erforderlich ist, z. B. bei der serienweisen Prüfung von Schwingungskreisen. Hier wird man zum Vergleich eine ein für allemal festgelegte „Normalkurve" verwenden, die man beispielsweise auf durchsichtiges Papier zeichnet, das auf dem Leuchtschirm befestigt ist. In solchen Fällen erübrigen sich gewöhnlich die angedeuteten Vorsichtsmaßregeln.

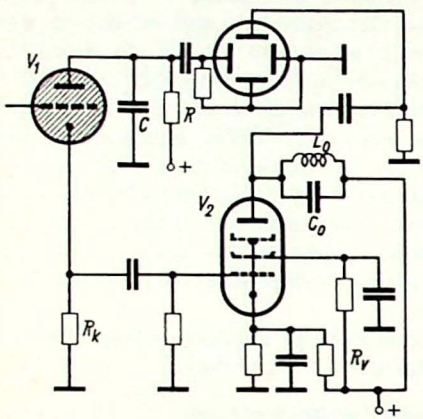


Bild 110: Schaltung zur Darstellung gedämpfter Schwingungen

Eine mitunter recht brauchbare Methode zur Ermittlung von Kreisdämpfungen, die den Einfluß kleiner Dämpfungsänderungen genauer erkennen läßt als die Darstellung der Resonanzkurve, ist die Sichtbarmachung der gedämpften Schwingung selbst. Grundsätzlich könnte man den betreffenden Kreis einmal durch einen elektrischen Impuls anstoßen und gleichzeitig eine einmalige Zeitablenkung einleiten. Dann erscheint auf dem Leuchtschirm das Oszillogramm, das man — da es nur einmal geschrieben wird — fotografisch festhalten muß. Man kann jedoch die gedämpften Schwingungen auch dauernd sichtbar machen, indem man den Vorgang periodisch wiederholt. Hierfür ist z. B. eine Schaltung nach Bild 110 geeignet. Das aus dem Kippkondensator C, dem Ladewiderstand R (am besten eine Pentode) und dem Thyratron V_1 bestehende Kippgerät erzeugt die Zeitablenkung für die Horizontalplatten der Oszillografenröhre. In der Katodenleitung von V_1 liegt ein kleiner Widerstand R_k, an dem bei der Entladung von C (Rücklauf) ein impulsförmiger Spannungsstoß entsteht. Dieser Impuls wird über eine Kapazität dem Steuergitter einer Pentode V_2 zugeleitet, die eine so hohe Gittervorspannung erhalten muß, daß nur während der Dauer des Impulses Anodenstrom fließen kann. Um das zu erreichen, leitet man über den Widerstand R_v einen Hilfsstrom durch den Katodenwiderstand, so daß an diesem ein entsprechend hoher Spannungsabfall — unabhängig vom Anodenstrom — entsteht.

Im Anodenkreis von V_2 liegt der zu untersuchende Schwingungskreis $L_0\,C_0$, dessen Spannung den Vertikalplatten der Katodenstrahlröhre zugeführt wird. Während des Rücklaufs der Kippspannung fließt nun ein kurzzeitiger Anodenstromstoß durch den Kreis $L_0\,C_0$ und regt diesen zu gedämpften Schwingungen an, die während des Hinlaufs der Kippspannung auf dem Schirm sichtbar werden. Da sich der Vorgang im Rhythmus der Kippschwingungen wiederholt, bildet sich ein stehendes Oszillogramm der gedämpften Schwingungen. Die Frequenz der Kippspannung muß so bemessen werden, daß während des Hinlaufs die Schwingung praktisch vollkommen abklingt. Ist die Kippfrequenz zu groß, so erscheinen nur wenige Schwingungen auf dem Schirm, die beim Einsetzen des Rücklaufs noch nicht abgeklungen sind. Ist dagegen die Kippfrequenz zu klein, so drängt sich der Vorgang in ein kurzes Stück des Hinlaufs zusammen [A 60—62].

Natürlich kann für diese Untersuchungen das bereits im Oszillografen befindliche Kippgerät verwendet werden; lediglich der Widerstand R_k ist vorher einzufügen.

Aus dem Amplitudenverhältnis zweier aufeinanderfolgender Schwingungen läßt sich ohne weiteres das Schwingungsdekrement bestimmen, das seinerseits wieder als Unterlage für weitere Untersuchungen dienen kann. Eine Vergrößerung der Dämpfung, beispielsweise durch Parallelschalten eines Widerstandes, wird im Oszillogramm sofort durch einen steileren Abfall der Amplitude von aufeinanderfolgenden Schwingungen sichtbar. Besonders wertvoll ist das Verfahren zur Untersuchung von Einschwingvorgängen an Sendern, Filtern, Siebketten usw. Das zu untersuchende Organ braucht dann lediglich an Stelle des Schwingungskreises von Bild 110 eingeschaltet zu werden.

5. Untersuchung von Siebketten, Filtern und Transformatoren

Die Untersuchung von Siebketten, Filtern, Transformatoren und ähnlichen frequenzabhängigen Vierpolen erstreckt sich auf die Sichtbarmachung des Frequenzganges und die damit verbundene Ermittlung der Grenzfrequenzen, gegebenenfalls auch auf die Sichtbarmachung von Einschwingvorgängen. Es finden demnach die Schaltungen nach Bild 97, 105 und 110 sinngemäß Anwendung. Da bei solchen Vierpolen sehr oft das Zusammenwirken mehrerer Ströme und Spannungen von Interesse ist, empfiehlt sich die Verwendung von Zweistrahloszillografen oder Anordnungen mit Elektronenröhrenschaltern. Es ist dann z. B. möglich, Eingangs- und Ausgangsspannung eines Filters in Abhängigkeit von der Frequenz darzustellen, eine Messung, die nach den üblichen Verfahren einen recht beträchtlichen Aufwand erfordert.

Enthalten die Meßobjekte Eisen, so interessiert auch der Einfluß der Amplitude auf Größe und Kurvenform der Ausgangsspannung. Derartige Messungen sind natürlich mit dem Oszillografen leicht durchführbar,

wovon bereits im Abschnitt I und diesem Abschnitt ausführlich die Rede war. Auch die Hinweise auf die Aufnahme von Magnetisierungskurven sind in diesem Zusammenhang von Interesse.

6. Untersuchungen an Hoch- und Zwischenfrequenzverstärkern

Die Untersuchungen an Hoch- und Zwischenfrequenzverstärkern erstrecken sich auf die Darstellung des Frequenzgangs, der eventuellen Einschwingvorgänge, der Laufzeit, der Amplitudenabhängigkeit der Verstärkung und des Klirrfaktors.

Zur Untersuchung des Frequenzganges können die Anordnungen nach Bild 97, 105 und 110 benützt werden; Einschwingvorgänge lassen sich mit einer Anordnung nach Bild 110 gut beobachten. Die in letzter Zeit sehr beliebte Prüfung mit einer Rechteckspannung wird bei den fernsehtechnischen Anwendungen beschrieben.

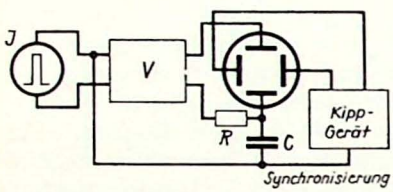


Bild 111: Schaltung zur Laufzeitmessung von Verstärkern nach der Impulsmethode

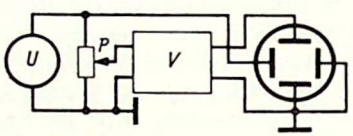


Bild 112: Schaltung zur Laufzeitmessung von Verstärkern durch Phasenwinkelbestimmung

Die Verstärkerlaufzeit ist insbesondere bei Fernsehverstärkern, Impulsverstärkern usw. von Bedeutung. Es gibt eine direkte und eine indirekte Methode. Bei der direkten Methode schaltet man nach dem Schema von Bild 111 die Spannung eines mit dem Kippgerät für die Zeitablenkung synchronisierten Impulsgenerators J auf den Verstärkereingang und oszillografiert den Ausgangsimpuls. Gleichzeitig führt man den Eingangsimpuls über den Kondensator C und den Widerstand R dem Oszillografen zu. Dann erhält man auf dem Leuchtschirm zwei nebeneinanderliegende Impulse, deren längenmäßige Entfernung ein Maß für die Laufzeit des Verstärkers, bezogen auf die betreffende Impulsfrequenz, ist. Bei bekannter Kippfrequenz f entspricht der Leuchtstrichlänge die Zeit 1/f, wodurch der zeitliche Maßstab gegeben ist. Mit dieser Methode lassen sich übrigens auch Verriegelungserscheinungen in Verstärkern gut beobachten. Man braucht dann lediglich die Spannungen zweier Impulsgeneratoren gleicher Frequenz auf den Verstärkereingang zu schalten, wobei die eine Amplitude sehr groß, die andere dagegen sehr klein sein muß. Durch einen geeigneten Phasenschieber wird nun dafür gesorgt, daß der kleine Impuls später als der große auf den Verstärkereingang trifft. Löst der starke Impuls im Verstärker Blockierungserscheinungen durch Arbeitspunktverlagerung der Röh-

ren, Kondensatoraufladungen usw. aus, so erscheint der später folgende kleinere Impuls um so schwächer am Ausgang, je geringer der zeitliche Abstand zwischen beiden Impulsen ist. Der Verstärker ist dann eine gewisse Zeit nach dem Durcheilen des ersten Signals relativ unempfindlich, so daß der schwache Impuls nur wenig verstärkt wird. Kann die Phasenlage der beiden Impulse kontinuierlich verschoben werden, so kann man genau den Zeitraum feststellen, während dessen der Verstärker noch unter dem Einfluß des starken Signals steht.

Eine weitere Methode zur Bestimmung der Laufzeit ist in Bild 112 wiedergegeben. Sie beruht auf der Bestimmung des Phasenwinkels zwischen Eingangs- und Ausgangsspannung (siehe I, 6). Um gute Phasenellipsen zu erhalten, greift man die Eingangsspannung an einem Potentiometer P ab. Die Berechnung der Laufzeit aus dem Phasenwinkel erfolgt nach den üblichen Methoden.

Die Amplitudenabhängigkeit der Verstärkung kann ebenfalls mit einer Schaltung nach Bild 112 bestimmt werden, indem man bei konstanter Frequenz die Eingangsspannung am Potentiometer P langsam erhöht. Die Ellipse bleibt solange unverzerrt, wie der Verstärker noch nicht übersteuert wird; lediglich die große Achse der Ellipse nimmt mit wachsender Aussteuerung eine steilere Lage an. Sobald Übersteuerung eintritt, wird die Kurve verzerrt.

Der Klirrfaktor läßt sich am besten aus dem Oszillogramm der Ausgangsspannung bestimmen, das nach den Gesetzen der Fourieranalyse auszuwerten ist.

7. Untersuchungen an Niederfrequenzverstärkern und Endstufen

Alle bezüglich Frequenzgang, Einschwingvorgängen, Laufzeit, Amplitudenabhängigkeit und Klirrfaktor im vorigen Abschnitt enthaltenen Ausführungen gelten grundsätzlich auch für Niederfrequenz-Spannungsverstärker. Erwähnt sei noch die besonders bei Widerstandsverstärkern wichtige Möglichkeit der verlustfreien Messung von Gleichspannungen unmittelbar an den Anoden der Verstärkerröhren.

Besondere Bedeutung hat die oszillografische Bestimmung der Leistung von Endstufen. Da die Leistung dem Produkt aus Anodenstrom und Anodenspannung proportional ist, kann man z. B. eine Schaltung nach Bild 88 verwenden, wobei der Widerstand $\mathfrak{R}$ derjenige Widerstand ist, der die Leistung der Endstufe verbraucht. Die sich bei dieser Messung ergebende Figur umschließt eine Fläche, die nach den Ausführungen auf Seite 85 der abgegebenen Leistung proportional ist. Man bekommt allein durch Beobachten des Leuchtschirmbildes wertvolle Anhaltspunkte für die optimale und verzerrungsfreie Anpassung, denn der Unterschied des Flächeninhalts, der sich beim Verändern des Arbeitswiderstandes ergibt, läßt sich ziemlich

genau beobachten. Die Form der Hüllkurve selbst deutet außerdem auf Verzerrungen hin [A 63]. Den Verzerrungsursachen kommt man am besten auf die Spur, wenn man nacheinander die Gitterwechselspannung, den Anodenstrom (über einen Hilfswiderstand) und die Anodenspannung oszillografiert. Das kann beispielsweise mit einer Tastleitung, die an der einen Vertikalplatte liegt und mit der man hintereinander die interessierenden Klemmen des Verstärkers berührt, geschehen. Vor allem Verzerrungen, die bereits im Gitterkreis entstehen, werden auf diese Weise sehr schnell erkannt, wodurch man langwierige Untersuchungen einspart. Die zahlenmäßige Auswertung dieser Meßverfahren erfordert natürlich eine genaue Eichung der Oszillografenröhre und einiges Experimentiergeschick.

8. Untersuchung von Demodulatoren

Die Untersuchung von Demodulatoren mit Hilfe von Röhrenvoltmetern ist eine sehr problematische Angelegenheit; es liegt in der Natur des Demodulators, daß die an ihm auftretende Spannung verzerrt ist. Die üblichen Röhrenvoltmeter weisen jedoch erhebliche und unkontrollierbare Meßfehler auf, wenn die Meßspannung von der Sinusform abweicht. Die Anwendung des Katodenstrahloszillografen geht diesen Schwierigkeiten aus dem Weg. Man verwendet zweckmäßigerweise eine Schaltung, die das Sichtbarmachen der eigentlichen Gleichrichterkennlinie gestattet. Es handelt sich also darum, die demodulierte Niederfrequenz als Funktion der Hochfrequenz auf dem Leuchtschirm aufzuzeichnen.

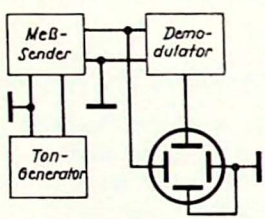


Bild 113: Schaltung zur Aufnahme von Demodulatorkennlinien

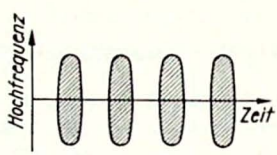


Bild 114: Form der modulierten Hochfrequenzschwingung

In Bild 113 ist die Schaltung schematisch angedeutet. Man moduliert einen Meßsender mit genügend großer Hochfrequenzspannung durch einen Tongenerator so kräftig, daß sich eine mindestens hundertprozentige Modulation gibt. Der Verlauf der Hochfrequenzspannung muß also etwa die in Bild 114 dargestellte Form haben. Die Hochfrequenz wird auf den Eingang des Demodulators und gleichzeitig auf die Horizontalplatten der Oszillografenröhre gegeben, so daß die Abszisse des Oszillogramms von der zwischen Null und einem Höchstwert pendelnden Hochfrequenzspannung geschrieben wird. Der Ausgang des Demodulators, an dem die Niederfrequenz auftritt, steht mit den Vertikalplatten in Verbindung. Da Hoch-

frequenz und Niederfrequenz über die Gleichrichterkennlinie verknüpft sind, bildet sich auf dem Leuchtschirm eine helle Fläche, deren Umrandung der Gleichrichterkennlinie entspricht. Diese Kurve kann ausgewertet und für weitere Untersuchungen herangezogen werden.

Besonders wertvoll ist die Tatsache, daß das dynamische Verhalten des Demodulators bei beliebigem Außenwiderstand und bei jeder gewünschten Frequenz genauestens beobachtet werden kann. Durch Wahl der Hochfrequenzamplitude läßt sich darüber hinaus die Gleichrichterkennlinie entweder nur wenig aussteuern, um die Struktur des Kennlinienknicks genau zu erfassen, oder aber man kann durch kräftige Aussteuerung die gesamte Gleichrichterkennlinie erscheinen lassen. Auch ein nicht eindeutiges Arbeiten der Schaltung (z. B. gleichzeitige Gitter- und Anodengleichrichtung) kann aus den Oszillogrammen einwandfrei erkannt werden.

Selbstverständlich liefert auch der einfache oszillografische Vergleich der Hüllkurve der modulierten Hochfrequenz mit der entsprechenden Kurve des zeitlichen Verlaufs der demodulierten Niederfrequenz wertvolle Hinweise. So kann man z. B. dem einen System einer Zweistrahlröhre die modulierte Hochfrequenz, dem zweiten System die demodulierte Niederfrequenzspannung zuführen. Durch Verändern des Modulationsgrades und durch einen visuellen Vergleich beider Bilder kann man dann unschwer feststellen, wann beide Kurven voneinander abzuweichen beginnen. Der Grund für diese Abweichung ist in diesem Fall nur im unvollkommenen Arbeiten des Demodulators zu suchen. Auch der Einfluß eventueller Vorspannungen im Gleichrichterkreis (negative Vorspannung bei Anodengleichrichtung) ist aus dem Leuchtschirmbild klar erkennbar.

Der Katodenstrahloszillograf eignet sich auch zur Feststellung von Hochfrequenzresten hinter dem Demodulator. Sind keine nennenswerten Restspannungen vorhanden, so ergeben sich klare und scharfe Linien im Niederfrequenzoszillogramm, während sie im anderen Fall verwaschen und mit einem Flaum umgeben erscheinen. Die Wirkung des Einschaltens von Siebmitteln kann aus dem Schirmbild sofort erkannt werden [A 64].

Es sei noch erwähnt, daß man aus dem Bild der Gleichrichterkennlinie nach dem oben beschriebenen Verfahren unschwer den noch zulässigen Modulationsgrad für den betreffenden Demodulator entnehmen kann. In Bild 115 ist die Kurve dargestellt. Man sucht das größte, in die Kurve hineinpassende Trapez mit linearen Seiten a und b. Die beiden anderen Seiten c und d ergeben den ohne Verzerrungen zulässigen Modulationsgrad m nach der Formel

$$m = \frac{c - d}{c + d} \cdot 100\ [\%] \qquad (27)$$

Der zulässige Modulationsgrad ist also um so größer, je größer die linearen Seiten des Trapezes sind.

9. Untersuchung von Oszillatoren und Sendern

Auf nur wenigen Gebieten kann der Katodenstrahloszillograf mit soviel Nutzen verwendet werden wie bei der Untersuchung von Sendern und Oszillatoren. Allein durch Beobachten der Kurvenform der nichtmodulierten oder modulierten Hochfrequenzschwingungen kann man wichtige Rückschlüsse auf das einwandfreie Arbeiten des Senders ziehen. Diese Beobachtung ist z. B. bei Oszillatoren von Superhets wichtig, die gerne zum Tröpfeln neigen. Oft steht der Radiotechniker vor der auf den ersten Augenblick unerklärlichen Erscheinung, daß ein Superhet zahlreiche dicht nebeneinanderliegende Pfeifstellen zeigt. Ein Blick auf das Oszillogramm

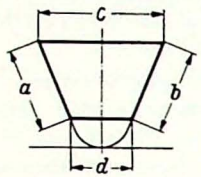


Bild 115: Auswertung der Demodulatorkennlinie zur Bestimmung des höchstzulässigen Modulationsgrades

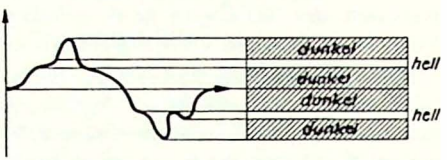


Bild 116: Helligkeitsverteilung in einem Oszillogramm bei verzerrter Hochfrequenz

der Oszillatorspannung ergibt dann sofort, daß der Oszillator keine kontinuierliche Hochfrequenz erzeugt, sondern daß er „tröpfelt", d. h., daß seine Schwingungen in regelmäßigen Intervallen aus- und wieder einsetzen [A 65]. Diese Erscheinung, die man durch systematisches Verkleinern von Gitterkondensator und Gitterwiderstand beseitigen kann, läßt sich ohne Katodenstrahloszillograf nicht so schnell richtig erkennen.

Um das soeben geschilderte, auch „Überschwingen" genannte Tröpfeln am Oszillogramm festzustellen, muß die hochfrequente Schwingspannung nicht unbedingt durch die Zeitablenkung soweit aufgelöst werden, daß die einzelnen Schwingungen zu erkennen sind. Man kann mit relativ kleinen Kippfrequenzen arbeiten und erhält dann für den Fall, daß der Sender einwandfrei arbeitet, ein leuchtendes und fast gleichmäßig helles Band auf dem Leuchtschirm. Setzt dagegen der Sender in periodischen Abständen aus, so entstehen im Oszillogramm senkrechte, dunkle Linien und in der Mitte eine etwas hellere Stelle, da der Katodenstrahl dort kurzzeitig verweilt [A 66]. Auch zur Beurteilung von Verzerrungen ist eine große Zeitdehnung nicht erforderlich. Das Band hat dann nicht überall gleiche Helligkeit, sondern es zeigen sich hellere oder dunklere waagrechte Streifen, die darauf hindeuten, daß der Strahl an diesen Stellen entweder schneller oder langsamer ansteigt, als es dem sinusförmigen Verlauf entsprechen würde. In Bild 116 ist das z. B. an Hand einer verzerrten Sinuskurve dargestellt.

Auf die Möglichkeit der Aufnahme der Einschwingkurven von Sendern wurde schon auf Seite 103 hingewiesen. Diese Möglichkeit ist wichtig zur Beurteilung der Brauchbarkeit für Telegrafie- oder Fernsehzwecke. Werden Messungen an sehr leistungsstarken Sendern durchgeführt, so muß man darauf achten, daß die Hochfrequenz nicht durch unmittelbare magnetische oder statische Einstreuung auf die Röhre gelangt. Mitunter sind zur Abschirmung mehrere ineinandergesetzte Käfige erforderlich.

Für die Bestimmung des Modulationsgrades ist der Katodenstrahloszillograf sehr geeignet. Man kennt im wesentlichen zwei Verfahren. Das erste besteht einfach darin, die modulierte Hochfrequenz zu oszillografieren, indem man den Vertikalplatten die modulierte Spannung, den Horizontalplatten dagegen eine Kippspannung zuführt, die mit der Modulationsfrequenz synchronisiert ist. Diese Anordnung ist in Bild 117 schematisch wiedergegeben. Man wählt das Verhältnis zwischen Kippfrequenz und Modulationsfrequenz zweckmäßigerweise so, daß etwa zwei Perioden der Modulationsfrequenz auf dem Leuchtschirm sichtbar werden [A 67]. Das sich ergebende Oszillogramm ist in Bild 118 dargestellt. Der Modulationsgrad m errechnet sich aus den eingetragenen Strecken a und b nach der Beziehung

$$m = \frac{b - a}{b + a} \cdot 100 \ [\%] \qquad (28)$$

Ein einfacheres und ebenfalls sehr genaues Verfahren zur Bestimmung des Modulationsgrades zeigt Bild 119. Hier wird kein Kippgerät benötigt.

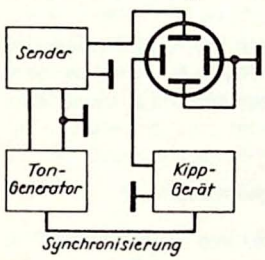


Bild 117: Anordnung zur Bestimmung des Modulationsgrades aus der Hochfrequenzhüllkurve

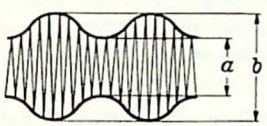


Bild 118: Leuchtschirmfigur der modulierten Schwingung

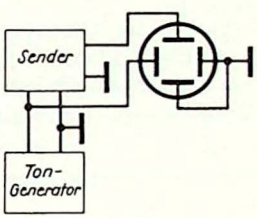


Bild 119: Anordnung zur Bestimmung des Modulationsgrades aus dem Modulationstrapez

Man schaltet die modulierte Hochfrequenz wie vorher auf die Vertikalplatten, während man an die Horizontalplatten die modulierende Niederfrequenz (Modulationsfrequenz) legt. Unter dem Einfluß beider Komponenten bildet sich eine stillstehende, trapezartige Figur nach Bild 120. Bild a gilt für einen Modulationsgrad $< 100\ \%$, während er bei Bild b 100 % beträgt. Die Auswertung erfolgt wiederum nach Gl. (28). Die obere und untere Trapezseite verlaufen geradlinig, wenn zwischen der Modulationskurve der Hochfrequenz und der modulierenden Niederfrequenz selbst

keine Phasenverschiebung besteht [A 68]. Ist das jedoch der Fall, so sind die Kanten ellipsenförmig. Eine Phasenverschiebung kommt vor, wenn zwischen dem Generator für die Modulationsfrequenz und der Modulationsstufe des Senders phasendrehende Organe liegen oder wenn in der Modulationsstufe selbst eine zusätzliche Phasendrehung erfolgt. Man muß dann

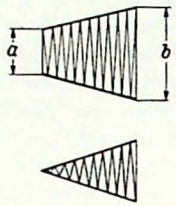


Bild 120: Modulationstrapez

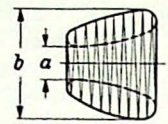


Bild 121: Auswertung eines Modulationstrapezes mit elliptischer Begrenzung

durch Zwischenschalten eines entgegengesetzt wirkenden Phasenschiebers eine Kompensation herbeiführen. Die Leuchtschirmfigur läßt sich jedoch auch ohne diese oft umständliche Maßnahme auswerten, wie das in Bild 121 angedeutet ist.

Der Katodenstrahloszillograf ist weiterhin geeignet, eine gleichzeitig mit der Amplitudenmodulation auftretende Frequenz- oder Phasenmodulation sichtbar zu machen. Hierauf kommen wir in Abs. 22 näher zu sprechen.

Durch das Oszillografieren der Senderschwingung kann man natürlich sämtliche Störeffekte, die möglicherweise auftauchen, z. B. Netzton usw., mit Sicherheit erkennen. Die Abhilfemaßnahmen machen sich unmittelbar während des Oszillografierens bemerkbar.

10. Untersuchung von Schwundregelspannungen

In manchen Fällen möchte man den genauen zeitlichen Verlauf des Verstärkungsanstiegs eines geregelten Verstärkers vom Augenblick des Abschaltens eines hochfrequenten Signals bis zu dem Zeitpunkt wissen, an dem die volle Verstärkung erreicht ist. Dieser Anstieg vollzieht sich so schnell, daß er punktweise nicht mehr erfaßt werden kann.

Oszillografisch läßt sich der Vorgang dadurch aufnehmen, daß man den Anodenstromanstieg innerhalb des erwähnten Zeitraumes sichtbar werden läßt. Vorher bestimmt man diejenigen Stromwerte, zu denen die größte bzw. die kleinste Verstärkung gehört; das kann durch eine einfache Messung mit Röhrenvoltmeter und Meßsender erfolgen. Zur Aufnahme des zeitlichen Verlaufs selbst geht man beispielsweise nach Bild 122 vor. V_1 sei die geregelte Röhre, an der die Messung vorgenommen wird. Man schaltet

die Spannung am Schirmgitter, das über einen möglichst großen Widerstand R mit dem Pluspol des Empfängers verbunden sein soll, auf die Vertikalplatten. Die Horizontalplatten liegen an einem Kippkondensator C, der über die Pentode V von einer Gleichspannung zeitlinear aufgeladen werden kann. Diese Aufladung und damit die zeitproportionale Horizontalverschiebung des Leuchtflecks beginnt, wenn der Schalter S_1 geöffnet wird.

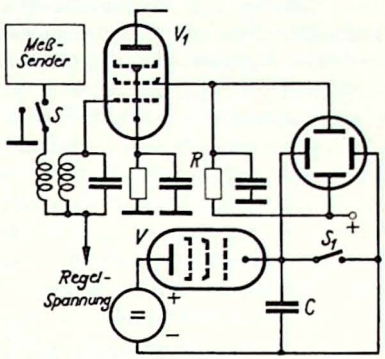


Bild 122: Schaltung zur Bestimmung der Zeitkonstante von Schwundreglern

S_1 sei zunächst geschlossen, S befinde sich in der rechten Stellung. Dann wird V_1 vom Meßsender ausgesteuert, so daß die Verstärkung herabgesetzt wird. Wenn man nun gleichzeitig S umschaltet und S_1 öffnet, so fällt die Gitterwechselspannung fort; der Anodenstrom und damit die Spannung an R beginnen zu steigen und der Leuchtfleck beschreibt den zeitlichen Verlauf des Anodenstroms (bzw. der ihm proportionalen Schirmgitterspannung), da gleichzeitig die Zeitablenkung durch Ansteigen der Spannung an C einsetzt. Der Vorgang muß fotografiert werden, da er für eine periodische flimmerfreie Wiederholung zu langsam ist (Dauer etwa $^1/_{10}$ sec.). Der Aufwand ist natürlich relativ groß und kommt nur in besonderen Fällen in Betracht.

Selbstverständlich kann man den Oszillografen auch einsetzen, um eventuelle, durch die Schwundregelung verursachte Verzerrungen zu ermitteln usw.

11. Untersuchung und Eichung von Tongeneratoren

Die oszillografische Untersuchung von einfachen selbsterregten Tongeneratoren erstreckt sich in erster Linie auf die Prüfung der Kurvenform der Schwingungen (Verzerrungen durch evtl. Eisenkerne), ferner auf eine mögliche Phasendrehung zwischen Anoden- und Gitterwechselspannung, deren Größe für eine ausreichende Frequenzstabilität bekanntlich von Einfluß ist. Die hierfür üblichen Methoden wurden bereits an anderen Stellen dieses Buches beschrieben. Handelt es sich um Schwebungsgeneratoren, so

wird man auch die einzelnen Hochfrequenzschwingungen und die Vorgänge in der Mischstufe (Verzerrungen, Oberwellenbildung) einer oszillografischen Untersuchung unterwerfen. Eine große Anzahl von Oberwellen beruht insbesondere bei selbstgebauten Tongeneratoren auf Nichtlinearitäten des Gleichrichters, die mit gewöhnlichen Methoden schlecht, oszillografisch dagegen sofort als solche erkannt werden können.

Die Eichung von Tongeneratoren kann sehr genau erfolgen, wenn ein Normalgenerator zur Verfügung steht und wenn man die beiden Frequenzen unter Verwendung eines Oszillografen als Indikator genau in Übereinstimmung bringt. Die Schaltung wurde bereits auf Seite 82 beschrieben. Es empfiehlt sich, stets eine genau bekannte Normalfrequenz einzustellen und den zu eichenden Generator so lange in seiner Frequenz zu verändern, bis sich das einfachste stehende Bild (je nach Phasenlage ein Kreis, eine Ellipse oder ein Strich) ergibt. Dann sind beide Frequenzen genau gleich groß. Im Gegensatz zu anderen Anordnungen mit akustischer Anzeige sind auch langsamste Frequenzabweichungen durch Bewegungen der Leuchtschirmfigur mit Leichtigkeit erkennbar, so daß die Eichgenauigkeit in der Katodenstrahlröhre selbst kaum eine Grenze findet.

Reicht der Frequenzbereich des Vergleichsgenerators nicht aus, so kann man natürlich, wie auf Seite 82 beschrieben, auch mit komplizierteren Lissajous-Figuren arbeiten. Die mit zunehmendem Frequenzverhältnis immer schwierigere Ausdeutung dieser Figuren wird dadurch erleichtert, daß man zunächst den Anfangsteil der Eichkurve mit dem Frequenzverhältnis 1:1, das stets eindeutige Ergebnisse liefert, aufnimmt. Der weitere Verlauf der Kurve kann nun extrapoliert werden. Man liest die auf diesem Kurventeil liegenden Werte ab und bestimmt diejenigen Wertepaare, bei denen sich eine stehende Figur ergeben muß. Durch langsames Ändern der Frequenz werden sich ungefähr an den betreffenden Stellen die stehenden Bilder ergeben, die nun nicht mehr genau analysiert zu werden brauchen. Die genauen Frequenzen werden dann am Normalgenerator abgelesen und liefern weitere Eichpunkte.

Steht kein Normalgenerator zur Verfügung, so kann man — allerdings mit Vorbehalten — auch die Netzwechselspannung zum Vergleich heranziehen. Bei den modernen Netzen wird der Mittelwert der Netzfrequenz z. B. über 24 Stunden sehr genau konstant gehalten. Dagegen empfiehlt es sich, wegen der möglichen Momentan-Abweichungen das Netz mit einem Zungenfrequenzmesser zu überwachen. Das Produkt aus dem abgelesenen Wert und dem Frequenzverhältnis, das sich aus der Leuchtschirmfigur ergibt, liefert dann die Frequenz des zu eichenden Generators. Man erhält dann zwar unhandliche, aber immerhin genaue Zahlenwerte, sofern man sich auf den Zungenfrequenzmesser verlassen kann.

Gegebenenfalls läßt sich auch der von den Rundfunksendern mit großer

Frequenzgenauigkeit durchgegebene Meßton als Vergleichsnormal heranziehen; man stimmt einen beliebigen ungeeichten, aber sehr frequenzkonstanten Hilfsgenerator auf den Meßton ab und hat damit ein stets verfügbares Frequenznormal. Auch bei diesem Abgleich leistet der Katodenstrahloszillograf gute Dienste.

12. Untersuchung und Eichung von Meßsendern

Der Selbstbau und das richtige Abgleichen von Meßsendern sind ohne Zuhilfenahme des Katodenstrahloszillografen kaum denkbar. Fast alle bisher besprochenen Untersuchungsmethoden können gute Dienste leisten. Dazu gehört vor allem das Oszillografieren sämtlicher wichtigen Ströme und Spannungen, die Einstellung des richtigen Modulationsgrades, die Untersuchung auf Überschwingerscheinungen, Phasenmessungen usw. Auch die Frequenz- und Amplitudenkonstanz können überwacht werden, sofern ein Frequenznormal zur Verfügung steht.

Für die Eichung von Meßsendern gelten dieselben Richtlinien wie für Tongeneratoren. Als Normalfrequenz dient ein geeichter Vergleichssender, u. a. auch die sehr genauen Frequenzen der Rundfunksender, die man am besten von der letzten Hochfrequenzstufe eines leistungsfähigen Geradeausempfängers abnimmt. Eine Verstimmung des letzten Kreises schadet keineswegs, solange dadurch nicht die Spannung zu sehr abnimmt. Auch die Modulationsfrequenz des betreffenden Senders ist so lange nicht störend, wie die Lissajous-Figuren einfach sind, solange man also mit kleinen Frequenzverhältnissen arbeitet.

Je höher die zu vergleichenden Frequenzen sind, um so schwieriger ist natürlich die Einstellung stehender Figuren. Im Gebiet der Rundfunkfrequenzen ergeben sich jedoch noch keine diesbezüglichen größeren Schwierigkeiten.

13. Untersuchung von Netzgeräten und Gleichrichtern

Die Untersuchung von Gleichrichtern erstreckt sich in erster Linie auf die Darstellung der Gleichrichterkennlinie [A 69, 70]. Hierfür ist das schon an Hand von Bild 108 beschriebene Schaltbild ohne weiteres zu verwenden, wenn man sich die dort gezeichnete Triode durch eine Gleichrichterdiode ersetzt denkt. Auch das Verfahren zur Sichtbarmachung der Demodulatorkennlinien ist in diesem Zusammenhang von Interesse.

Aus der Kurve der pulsierenden Spannung kann man gute Rückschlüsse auf das einwandfreie Arbeiten des Gleichrichters ziehen. Die erforderliche Schaltung ist in Bild 123 wiedergegeben. Auf dem Schirm bilden sich unmittelbar die Spannungsimpulse ab, die einen Verlauf nach Bild 124 aufweisen. Durch wahlweises Öffnen der Schalter S_1 und S_2 in Bild 123 kann man erkennen, ob die einzelnen Gleichrichterstrecken symmetrisch arbeiten,

eine Untersuchung, die sich im Interesse der Lebensdauer hochbelasteter Gleichrichterröhren stets empfiehlt. Aus dem Leuchtschirmbild ist weiterhin sofort zu ersehen, ob Rückzündungen oder Störschwingungen eintreten,

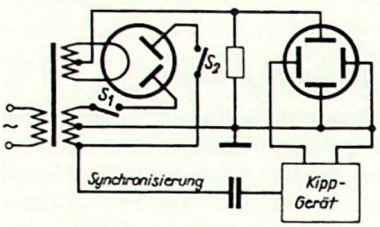


Bild 123: Schaltung zur Darstellung der pulsierenden Spannung

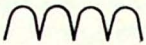


Bild 124: Verlauf der pulsierenden Spannung

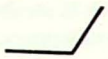


Bild 126: Leuchtschirmbild zu der Schaltung Bild 125

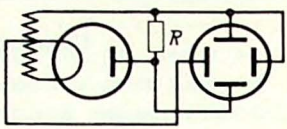


Bild 125: Einfache Schaltung zur Untersuchung von Netzgleichrichtern

womit man insbesondere bei gasgefüllten Gleichrichterröhren zu rechnen hat. Mancher zunächst unerklärlich erscheinende abstimmbare Netzton in Rundfunkempfängern kann durch solche Untersuchungen erklärt werden. Selbstverständlich ist es auch von Interesse, den in die Ladekondensatoren fließenden Wechselstrom oszillografisch zu untersuchen.

Eine besonders einfache Schaltung zur Untersuchung von Netzgleichrichtern ist in Bild 125 dargestellt. Den Horizontalplatten wird die Spannung der Sekundärwicklung des Netztransformators, den Vertikalplatten die an dem Widerstand R auftretende pulsierende Spannung zugeführt. Ein Kippgerät ist also überhaupt nicht erforderlich. Auf dem Leuchtschirm bildet sich eine stehende Figur nach Bild 126 aus. Der waagerechte Teil entspricht der Sperrzeit des Gleichrichters, in der die Transformatorspannung eine derartige Polarität hat, daß durch die Röhre kein Strom fließen kann [A 71]. Der schräge Teil zeigt den Stromanstieg in R während der Durchlaßzeit. Die Schärfe des Knickes ist für die Beurteilung der richtigen Arbeitsweise des Gleichrichters wichtig. Bei guten Hochvakuumröhren wird der Knick scharf ausgeprägt sein, während er beispielsweise bei Trockengleichrichtern weniger deutlich in Erscheinung tritt. Hat ein solcher Gleichrichter außerdem einen merklichen Rückstrom, so ist der linke Teil des Oszillogramms nicht waagerecht, sondern er verläuft leicht von rechts nach links geneigt. Die einfache Leuchtschirmfigur gibt also relativ gute und weitgehende Aufschlüsse über die Arbeitsweise des Gleichrichters.

Bei der Untersuchung der verschiedenartigen Netzgeräusche ist der Katodenstrahloszillograf unentbehrlich. Die einfachste Messung besteht darin, die am Lade- oder Beruhigungsblock des Netzgerätes herrschende restliche Wechselspannung (Brummspannung) zu oszillografieren. Dabei muß man die hohe Gleichspannung von den Ablenkplatten durch Kondensatoren fernhalten, die jedoch wegen der niederen Frequenz der Brummspannung sehr

groß sein müssen. Es ist daher besser, eine fremde Gleichspannung zur Kompensation heranzuziehen. Die Brummspannung selbst muß gegebenenfalls in einem geeigneten Verstärker mit sehr tiefer Grenzfrequenz heraufgesetzt werden [A 72].

Während am Netzgerät nur die unmittelbar durch den Gleichrichtervorgang hervorgerufene Brummspannung erfaßt werden kann, ist die oszillografische Darstellung der von der Endröhre des betreffenden Empfängers abgegebenen Störspannung aufschlußreicher. Die am Außenwiderstand der Endröhre auftretende Spannung wird zunächst verstärkt und dann den Vertikalplatten der Oszillografenröhre zugeführt. Die Horizontalplatten erhalten eine lineare Zeitablenkspannung. Das entstehende Oszillogramm enthält zwar die Grundwelle des Netzes (bzw. die halbe Grundwelle bei Einweggleichrichtung), weist jedoch gewöhnlich so viel Oberwellen auf, daß von einem sinusförmigen Verlauf keine Rede mehr sein kann. In dem Spannungsgemisch befinden sich nämlich sämtliche für die resultierende Brummspannung maßgebenden Einzelkomponenten, die aus den verschiedensten Quellen stammen können (Heizbrummen, Anodenbrummen, statischer Netzton, magnetischer Brumm usw.). Hierbei treten viele Oberwellen der Netzfrequenz auf, was im Oszillogramm durch oft recht eigenartige Verzerrungen zum Ausdruck kommt. Man kann nun durch systematisches Beseitigen der einzelnen Störquellen sofort aus dem Oszillogramm entnehmen, welche Störquelle den größten Einfluß auf die gesamte Brummspannung hat. Sehr aufschlußreich ist auch die gleichzeitige Aussteuerung des Empfängers mit einer mehr oder weniger großen Nutzspannung, z. B. der rein sinusförmig modulierten Ausgangsspannung eines Meßsenders. Während sich die Brummspannung bei kleinen Amplituden der Nutzspannung sichtbar überlagert, tritt diese Erscheinung mit zunehmender Amplitude immer mehr in den Hintergrund. Das ist natürlich auch rein akustisch festzustellen. Trotzdem hat manche rauhe Wiedergabe eines Rundfunkempfängers, die akustisch kaum als Netzton diagnostiziert werden kann, ihre Ursache in Brummspannungsresten, was der Oszillograf sofort erkennen läßt. In vielen Fällen ist nämlich die im Anodenstrom steckende Störfrequenz so klein, daß sie vom Lautsprecher nicht mehr zu Gehör gebracht wird, trotzdem aber indirekt eine rauhe Wiedergabe verursachen kann.

Die Brummspannungskurve läßt sich gegebenenfalls noch weiter analysieren, indem man mit Hilfe von abgestimmten Schwingungskreisen die einzelnen Oberwellen heraussiebt und nach Amplitude und Frequenz bestimmt. So weit wird man jedoch nur in besonders interessierenden Fällen gehen. Trotzdem zeigen diese Ausführungen, daß man mit dem Katodenstrahloszillografen nicht nur wesentlich leichter, sondern auch wesentlich gründlicher Brummspannungen ermitteln und richtig deuten kann.

14. Untersuchung von Wechselrichtern

Bei der Untersuchung von Wechselrichtern handelt es sich einerseits um die Erfassung der Kontaktbewegungen und Kontaktlagen, anderseits um die oszillografische Analyse der Ausgangswechselspannung, und zwar im Leerlauf und im belasteten Zustand. Da es sich in beiden Fällen um schnell

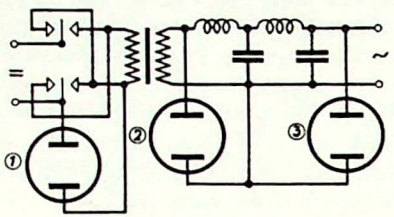


Bild 127: Oszillografische Untersuchung von Wechselrichtern

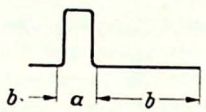


Bild 128: Kontaktoszillogramm

veränderliche Vorgänge handelt, ist der trägheitslose Katodenstrahloszillograf das einzige wirklich zuverlässige Hilfsmittel.

In Bild 127 ist das Schaltbild eines einfachen Wechselrichters mit Oberwellensieben ohne sonstige, z. B. für die Funkenlöschung usw. erforderliche Organe, dargestellt. Die drei hauptsächlich interessierenden Stellen, an die der Oszillograf angeschlossen werden kann, sind mit 1, 2 und 3 bezeichnet. In Stellung 1 kann das Öffnen und Schließen der Kontakte als stehendes Bild beobachtet werden, wenn man die Unterbrecherfrequenz mit der Zeitablenkung synchronisiert. Für die gute Wirkungsweise eines Wechselrichters ist es bekanntlich wichtig, daß die Schließungszeiten der Kontakte groß gegenüber den Öffnungszeiten sind. Wird von dem Oszillogramm eine volle Kontaktperiode erfaßt, so muß sich beispielsweise ein Leuchtschirmbild nach Bild 128 ergeben, in welchem a die Öffnungszeit und b die Schließungszeit darstellen. Die Strecke a muß also klein gegenüber der Strecke b sein. Wechselrichter mit geringem Wirkungsgrad zeigen meist ein umgekehrtes Oszillogramm, so daß man sofort weiß, wo der Fehler zu suchen ist. Er kann durch Nachjustierung der Kontakte und neuerliches Beobachten leicht behoben werden.

Die mit 2 in Bild 127 angegebene Anschaltung des Oszillografen läßt erkennen, wie groß der Oberwellengehalt der Wechselspannung ist und welche Störkomponenten vorhanden sind. Steile Spitzen, die kurz nach der Kontaktunterbrechung auftreten, deuten auf Schaltvorgänge in den Wechselrichterorganen hin. Durch Parallelschalten von Kondensatoren oder Dämpfungswiderständen kann man sofort am Oszillogramm erkennen, ob derartige Maßnahmen Besserung versprechen.

In Punkt 3 von Bild 127 schließlich kann man die endgültige Ausgangsspannung beobachten und beurteilen, ob die angewendeten Maßnahmen zur Entstörung ausreichen oder nicht. Selbstverständlich sind mit den angegebenen Meßpunkten die Untersuchungsmöglichkeiten keineswegs erschöpft. So kann man natürlich auch an den Drosseln und Kondensatoren der Siebketten im einzelnen Messungen vornehmen. Auch die oszillografische Untersuchung des den Pendelvorgang selbst auslösenden Kontaktes ist mitunter im Hinblick auf nach außen tretende Störungen bedeutungsvoll. Die gleichzeitige Beobachtung aller der Funkenlöschung dienenden Maßnahmen auf oszillografischem Wege empfiehlt sich in vielen Fällen ebenfalls.

15. Untersuchung von Störgeräuschen

Störgeräusche können bekanntlich die verschiedensten Ursachen haben. Am bekanntesten sind die Netzgeräusche, von denen schon in Abschnitt 13 die Rede war. In derselben Weise lassen sich auch alle anderen Störgeräusche untersuchen. Geübte Techniker unterscheiden zwar schon akustisch die einzelnen Geräusche im Lautsprecher eines Rundfunkempfängers hinsichtlich ihrer Ursache; der Oszillograf läßt jedoch noch weit bessere Unterscheidungen zu und gestattet vor allem die zahlenmäßige Bestimmung der Störkomponenten, so daß man bei der Entstörung des betreffenden Gerätes zielbewußt vorgehen kann [A 73, 74, 75, 76].

Will man ein bestimmtes Störspannungsbild fixieren, so empfiehlt sich eine einmalige Zeitablenkung mit fotografischer Aufnahme, denn es ist sehr schwer, ein derartiges Störoszillogramm auf dem Leuchtschirm wegen seiner undefinierten Frequenzzusammensetzung zum Stehen zu bringen; außerdem ändert sich die Struktur der Störspannung gewöhnlich sehr schnell.

16. Registrierung von Feldstärkeschwankungen

Zur Uberwachung der Feldstärkeschwankungen von Fernsendern kann man an sich mechanische Registriereinrichtungen verwenden, die mit elektrischen Meßwerken und einer sich langsam drehenden Registriertrommel arbeiten. Aber auch die besten Meßwerke sind so träge, daß sehr schnelle Schwankungen, wie sie bei Feldstärkemessungen insbesondere im Kurzwellengebiet vorkommen können, nicht exakt aufgezeichnet werden. Infolgedessen gehen viele Feinheiten verloren und die Registrierkurven zeigen den eigentlichen Ablauf des Vorgangs nur in groben Zügen an.

Der Katodenstrahloszillograf ist das gegebene Hilfsmittel zur absolut naturgetreuen Aufzeichnung von Feldstärkeschwankungen. Da eine Registrierung innerhalb relativ langer Zeiten (Minuten bis Stunden) in Frage kommt, muß man allerdings auch hier zur fotografischen Registrierung mit langsam umlaufenden Schreibtrommeln greifen. Die Anordnung ist in

Bild 129 schematisch dargestellt. Man verwendet einen leistungsfähigen Empfänger und verbindet den Ausgang der letzten Hochfrequenz- oder Zwischenfrequenzstufe mit den Vertikalplatten. Die Horizontalplatten bleiben [illegible] Betrieb. Wenn man einen wirklich linear arbeitenden

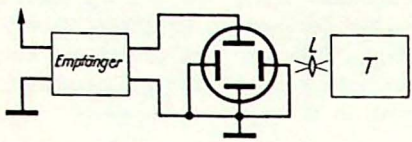


Bild 129: Registrierung von Feldstärkewerten

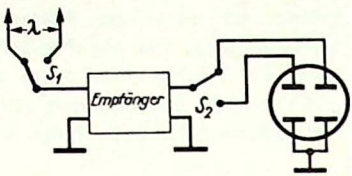


Bild 130: Anordnung zur Registrierung mit zwei verschiedenen Antennen

Demodulator hat, kann man auch die demodulierte Spannung, besser noch die mittlere Gleichspannung, wie sie zur Schwundregelung dient, oszillografieren. Dieses Verfahren ist aber nicht sehr zu empfehlen, weil die Feldstärkeschwankungen sehr groß sein, d. h. weil auch sehr kleine Spannungen auftreten können. Fast alle Demodulatoren der Praxis arbeiten jedoch bei kleinen Spannungen quadratisch, so daß stets eine Verzerrung gegeben ist, die unter Umständen besonders interessante Oszillogrammstellen wertlos macht. Eine unmittelbare Registrierung der Hochfrequenz ist daher vorzuziehen.

Der auftretende vertikale Leuchtstrich auf dem Schirm wird nun nach Bild 129 mit Hilfe einer Linse L auf der Registriertrommel T scharf abgebildet und die Trommel in Bewegung gesetzt. Man erhält auf diese Weise ein ausgezeichnetes registriertes Oszillogramm, das alle nur denkbaren Feinheiten genau wiedergibt.

Steht eine Zweistrahlröhre oder ein Elektronenröhrenschalter zur Verfügung, so kann man in schneller Folge durch eine Umschalteinrichtung dafür sorgen, daß abwechselnd zwei verschiedene Antennen auf den Empfängereingang geschaltet werden. Synchron hiermit läuft ein Schalter, der den Empfängerausgang einmal mit dem einen, das andere Mal mit dem anderen Röhrensystem verbindet. Man erhält auf diese Weise zwei Leuchtstriche, die jeweils zu zwei verschiedenen Antennen gehören. Befinden sich diese mindestens eine Wellenlänge voneinander entfernt, so zeigen sich in den registrierten Oszillogrammen bereits erhebliche Unterschiede, die ein Urteil darüber gestatten, ob gegebenenfalls die Anwendung zweier Antennen im Hinblick auf schwundarmen Empfang sinnvoll ist. Es kann nämlich sehr wohl möglich sein, daß die eine Antenne zu einem bestimmten Zeitpunkt gerade wenig, die andere dagegen viel Hochfrequenzspannung führt, so daß sich beide Antennen ergänzen können. In Bild 130 ist die prinzipielle Anordnung in ihren Grundzügen dargestellt. In diesem Zusammen-

hang sei erwähnt, daß man die Feldstärkeschwankungen über eine bestimmte Zeit auch auf endlosen Tonbändern mit kleinster Aufsprechgeschwindigkeit registieren kann. Eine wesentlich größere Wiedergabegeschwindigkeit erlaubt dann die periodische Wiedergabe der registierten Werte als stehendes Schirmbild, so daß sich die fotografische Aufzeichnung umgehen läßt.

17. Aufnahme von Spannungsteilerkurven

Bei der serienmäßigen Herstellung von Potentiometern ist es wichtig, den Verlauf der Potentiometerkurve, d. h. den Verlauf des Zusammenhangs zwischen Widerstandswert und Drehwinkel, zu überwachen. Man kann dazu beispielsweise nach Bild 131 vorgehen, indem man ein vollkommen

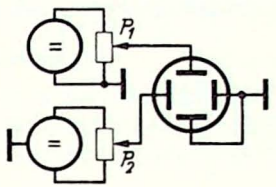


Bild 131: Anordnung zur Darstellung von Potentiometerkurven

lineares Potentiometer P_2 an eine in der Mitte angezapfte Stromquelle legt. Der Abgriff liegt an den Horizontalplatten. Der Drehwinkel dieses Potentiometers ist dann dem horizontalen Strahlausschlag proportional und der Strahl durchläuft den Schirm vom äußersten linken bis zum äußersten rechten Ende. Das zu prüfende Potentiometer liegt ebenfalls an einer Gleichstromquelle, sein Abgriff ist mit den Vertikalplatten verbunden. Kuppelt man die Potentiometerachsen und dreht sie durch, so erhält man auf dem Leuchtschirm eine Kurve, die den Widerstandsverlauf des Potentiometers P_1 als Funktion des Drehwinkels darstellt, denn die Spannung ist dem jeweils abgegriffenen Widerstand proportional [A 77]. Das Drehen kann einmalig von Hand aus geschehen. Man muß dann eine nachleuchtende Röhre verwenden, die die Kurve längere Zeit zur Auswertung festhält. Diese Methode wird man vor allem dann anwenden, wenn die zu prüfenden Potentiometer einen festen Anschlag haben. Ist das jedoch nicht der Fall, so kann man beide Potentiometer mit einem Motor genügend hoher Drehzahl antreiben. Dann erscheint ein stehendes Leuchtschirmbild.

Handelt es sich um stets wiederkehrende Vergleiche, so kann man ein Normalpotentiometer mit derselben Kurve wie der des zu prüfenden Potentiometers verwenden. Stimmen beide Kurven genau überein, so erhält man einen je nach dem Spannungsverhältnis mehr oder weniger geneigten Leuchtstrich, den man z. B. mit einem auf durchsichtigem Papier gezeichneten Tintenstrich zur Deckung bringen kann. Zeigt ein Potentiometer Abweichungen, so wird der Leuchtstrich deformiert und weicht mehr oder

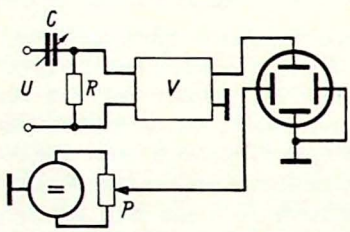
weniger von dem Markierungsstrich ab. Solch ein Verfahren ist bei Massenprüfungen sehr empfehlenswert, weil es den meist ungelernten Prüferinnen auftretende Fehler in sinnvoller Weise kundgibt.

Besonders interessante Kurven ergeben sich dann, wenn die abgegriffene Spannung des Potentiometers P_1 durch einen Verbraucher belastet wird. Die Kurve wird dann je nach dem Verhältnis zwischen Querstrom und Verbraucherstrom mehr oder weniger von einer Geraden abweichen.

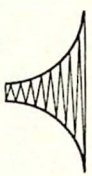
Selbstverständlich kann man das rotierende Potentiometer P_2 auch durch ein Kippgerät ersetzen. Es wird dann mit der Geschwindigkeit des Antriebsmotors synchronisiert, und man kann auf den Bau des meist etwas kostspieligen Vergleichspotentiometers, das mechanich sehr stabil und präzise sein muß, verzichten. Allerdings stören die oft nicht ganz zu vermeidenden Phasenschwankungen während der Synchronisierung mitunter erheblich.

18. Aufnahme von Drehkondensatorkurven

Die Aufnahme der Kurven von Drehkondensatoren, also des Zusammenhangs zwischen Kapazität und Drehwinkel, kann in ganz ähnlicher Weise erfolgen wie die Darstellung von Potentiometerkurven. In Bild 132 ist die



Links Bild 132: Schaltung zur Aufnahme von Drehkondensatorkurven



Rechts Bild 133: Leuchtschirmbild der Kapazitätskurve

grundsätzliche Schaltung wiedergegeben. Der zu prüfende Drehkondensator C liegt über einen Widerstand R an einer Spannungsquelle mit konstanter Frequenz und konstanter Spannung U. Dann ist der Strom in diesem Kreis und damit der Spannungsabfall an R genau der Kapazität C proportional. Die Spannung an R wird nötigenfalls nochmal mit einem Verstärker V heraufgesetzt und dann an die Vertikalplatten der Katodenstrahlröhre geführt. An den Horizontalplatten liegt eine dem Drehwinkel proportionale Spannung, die wie in der Schaltung nach Bild 131 durch ein Potentiometer P erzeugt werden kann. Demnach bildet sich bei gleichmäßigem Durchdrehen der gekuppelten Achse die Kapazitätskurve auf dem Leuchtschirm ab, diesmal allerdings in Form einer Hüllkurve, die die verschiedenen Amplituden der von U erzeugten Wechselspannungen begrenzt. Da die Amplituden natürlich symmetrisch zueinander liegen, erhält man eine Leuchtschirmfigur, die beispielsweise der von Bild 133 entspricht.

Wie bei den Potentiometerkurven, so kann auch hier das Oszillogramm entweder einmalig auf einer nachleuchtenden Röhre oder aber als stehen-

des Bild mit Hilfe eines Motors aufgezeichnet werden. Auch der Verwendung eines Kippgeräts zur Aufzeichnung der Drehwinkelkomponente steht nichts im Wege. Die Frequenz der Spannung U muß groß genug sein, damit an R ein hinreichender Spannungsabfall auftritt. Frequenzen von etwa 5 000 Hz bewähren sich sehr gut.

Von der Zwischenschaltung eines Demodulators zwischen Empfängerausgang und Katodenstrahlröhre sollte man aus den auf S. 101 dargelegten Gründen nach Möglichkeit absehen, da sonst der Verlauf der Kapazitätskurve im unteren Teil verfälscht wiedergegeben würde.

19. Untersuchung von Glimmlampen

Die Aufnahme der Kennlinien von Glimmlampen ist dann bedeutungsvoll, wenn beurteilt werden soll, ob sich die Lampe für bestimmte ins Auge gefaßte Zwecke eignet oder nicht. So können z. B. über die elektrische Trägheit einer Glimmlampe an Hand ihrer dynamischen Charakteristik wichtige Aussagen gemacht werden; die Trägheit jedoch ist für viele Zwecke (Erzeugung von Kippschwingungen, Stroboskopie usw.) von großer Bedeutung.

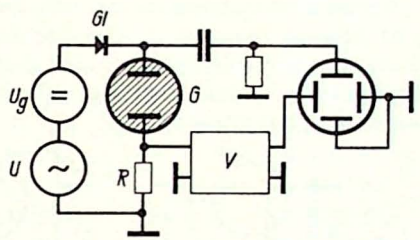


Bild 134: Schaltung zur Darstellung von Glimmlampenkennlinien

Die verwendete Schaltung ist in Bild 134 dargestellt. Der Glimmlampe G wird eine schwach pulsierende Spannung zugeführt, die man durch die Reihenschaltung einer Gleichspannung U_g, einer Wechselspannung U und eines Gleichrichters Gl gewinnen kann. Die Spannungen werden so eingestellt, daß die Glimmlampe während der Pulsationen zündet und voll durchgesteuert wird, d. h. den maximal zulässigen Strom erreicht. In Reihe mit der Glimmlampe liegt außerdem ein kleiner Widerstand R; der an ihm auftretende Spannungsabfall ist dem Glimmlampenstrom proportional. Die Spannung wird in einem Verstärker V verstärkt und den Horizontalplatten zugeführt. An den Vertikalplatten liegt die an der Glimmlampe auftretende pulsierende Spannung; der Gleichspannungsteil wird durch kapazitive Verriegelung ferngehalten.

Unter dem Einfluß beider Komponenten entsteht auf dem Leuchtschirm die Glimmlampenkennlinie, die Aufschluß über das elektrische Verhalten gibt. Sie muß, wenn keine Trägheit vorliegt, eine Linie ohne Schleifen-

bildung sein. Schleifenbildung deutet darauf hin, daß der Glimmlampenstrom nicht mehr in Phase mit der Spannung ist, was meist auf Trägheitseffekten beruht [A 78].

Verwendet man als Wechselspannungsquelle U einen Tongenerator, so kann man durch allmähliches Steigern der Frequenz bis zur Schleifenbildung die Frequenzgrenze feststellen, bis zu der praktisch keine Trägheit vorliegt. Die Anzeige wird um so genauer, je größer die Stromkomponente gemacht wird. Man verwendet daher zweckmäßigerweise einen möglichst empfindlichen Verstärker.

Auf ähnliche Art lassen sich auch Thyratronröhren oder sonstige gasgefüllte Röhren untersuchen. Auch die anläßlich der Aufnahme von Röhrenkennlinien besprochenen Anordnungen kommen bei komplizierten Entladungsgefäßen in Betracht. Die sich dabei ergebenden Unterschiede sind recht interessant und gewähren einen guten Einblick in das Wesen der Gasentladungen, worauf hier jedoch nicht näher eingegangen werden soll.

20. Untersuchung von Fotozellen

Auch für die Untersuchung von Fotozellen ist der Katodenstrahloszillograf bestens geeignet. Die statische Empfindlichkeit der Zelle läßt sich durch eine einfache Messung des Fotozellenstroms leicht bestimmen, nicht dagegen die Trägheit bei hohen Frequenzen. Man bedient sich dann einer Anordnung nach Bild 135.

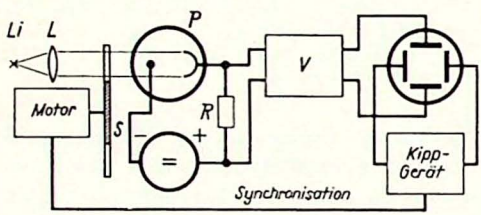


Bild 135: Anordnung zur Untersuchung von Fotozellen

Eine Lichtquelle Li wirft durch die Linse L ihr Licht durch eine mit rechteckigen Schlitzen versehene Scheibe S auf die zu untersuchende Fotozelle P. Der Fotostrom fließt durch den Widerstand R und ruft dort einen Spannungsabfall hervor, der auf den Eingang des Verstärkers V gegeben und in diesem verstärkt wird. Die Ausgangsspannung wird auf die Vertikalplatten der Katodenstrahlröhre geschaltet.

Durch einen Motor versetzt man die Schlitzscheibe in rasche Bewegung. Ein mit den Horizontalplatten verbundenes Kippgerät wird mit der Motorgeschwindigkeit synchronisiert. Durch die Schlitzscheibe erfolgt eine schnelle Unterbrechung des Lichtstrahls, so daß die Fotozelle von rechteckförmigen Lichtimpulsen getroffen wird. Arbeitet die Zelle trägheitslos,

so muß das auf dem Leuchtschirm sichtbare Bild ein genau den Schlitzen entsprechendes Rechteck nach Bild 136 a ergeben. Trägheitserscheinungen machen sich durch eine Abrundung des Oszillogramms nach Bild 136 b bemerkbar [A 79]. Voraussetzung für eine solche Prüfung ist natürlich, daß sich im ganzen Übertragungsweg keine Glieder befinden, die zu einer Verformung des Oszillogramms Anlaß geben könnten. Die Bandbreite des Verstärkers einschließlich des Widerstandes R muß also so groß sein, daß alle in dem Originalimpuls enthaltenen Oberwellen restlos erfaßt werden. Nur dann ist die Fotozelle das einzige Organ, das für eine Abrundung der Impulse verantwortlich sein kann.

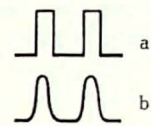


Bild 136: Leuchtschirmbilder zur Schaltung Bild 135

Ohne den mechanischen Aufwand zu sehr zu vergrößern, kann man ohne weiteres Impulszeiten bis $t = 10^{-6}$ sec erzeugen. Nach einer Faustformel ist zur unverfälschten Wiedergabe eines Rechteckimpulses von der Dauer t eine Bandbreite von etwa 1 : 2 t erforderlich, d. h. die Bandbreite müßte im vorliegenden Fall etwa 0,5 MHz betragen. Gute Oszillografenverstärker sind diesen Anforderungen ohne weiteres gewachsen.

Mit zunehmender Lichtimpulsfrequenz, also zunehmender Scheibengeschwindigkeit treten nicht nur Signalverrundungen, sondern es tritt auch eine Verringerung der Amplitude auf. Die dynamische Empfindlichkeit wird dann kleiner als die Gleichstromempfindlichkeit. Durch einfaches Abmessen der Amplitude bei verschiedenen Scheibengeschwindigkeiten läßt sich der Gang der Empfindlichkeitsabnahme mit der Frequenz ohne Schwierigkeiten bestimmen. Will man die etwas umständliche mechanische Einrichtung umgehen, so kann man zu trägheitslosen intermittierenden Lichtquellen greifen. Es ist aber nicht einfach, solche Lichtquellen ausfindig zu machen, besonders wenn sie bis zu 10^{-6} sec trägheitslos sein sollen. Es gibt zwar Katodenstrahlröhren mit Leuchtschirmen, deren Nachleuchtdauer noch unter diesem Wert liegt. In Betracht kämen moderne Stroboskopröhren, die aber leider relativ teuer sind. Bei einfachen Glimmlampen sind die erzielten Helligkeiten so gering, daß man die Empfindlichkeit des Verstärkers wesentlich erhöhen müßte, was bei gleicher Bandbreite beträchtliche Komplikationen mit sich bringt. Deshalb sind einfache, rotierende Schlitzscheiben nach wie vor das beste Mittel für solche Untersuchungen.

21. Ermittlung von Streufeldern

Um mit dem Katodenstrahloszillografen Streufelder zu ermitteln, kann man nach zwei Methoden vorgehen. Die erste setzt eine nicht abgeschirmte

und einigermaßen bewegliche Oszillografenröhre voraus, deren Ablenkplattenpaare mit dem Nullpunkt der Schaltung verbunden werden. Man bringt nun das auf sein Streufeld zu untersuchende Objekt in die Nähe des Röhrenhalses, worauf sich bei Gleichfeldern eine Fleckverschiebung, bei Wechselfeldern ein Leuchtstrich einstellt.

Die beschriebene Methode ist wegen der undefinierten Meßkonstanten nur für qualitative Untersuchungen oder für Vergleichszwecke geeignet. Will man dagegen exakte Untersuchungen vornehmen, so muß man die Ablenkplatten mit einer Spule bekannter Windungszahl verbinden und dafür sorgen, daß die Oszillografenröhre selbst durch Streufelder keine Beeinflussung erfährt. Die Prüfspule wird in das zu messende Streufeld getaucht. Hat dieses sinusförmigen Verlauf und enthält die Spule kein Eisen, so kann man nach bekannten Gesetzen aus der meßbaren Spannung und der Windungszahl die Felddichte des Streufeldes errechnen. Nach diesem Prinzip arbeiten auch die bekannten Signalverfolger, die sich in der Praxis vor allem dann bestens bewähren, wenn als Indikator ein Katodenstrahloszillograf verwendet wird. Dann sind sehr weitgehende Aussagen möglich.

22. Untersuchung von Geräten für Frequenzmodulation

Die Frequenzmodulation, die in den USA seit langem große praktische Bedeutung hat, ist jetzt auch in Deutschland eingeführt. Es ist demnach ein kleiner Ausblick darüber angebracht, welche Möglichkeiten sich dem Katodenstrahloszillografen auf diesem Gebiet eröffnen.

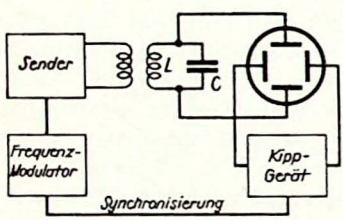
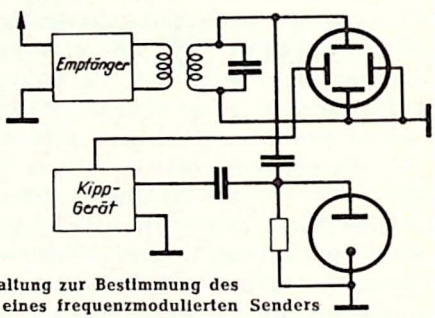


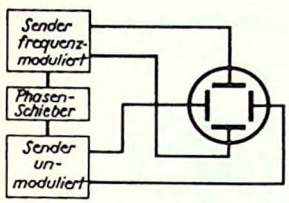
Bild 137: Meßschaltung für den Frequenzhub



Rechts Bild 138: Schaltung zur Bestimmung des Frequenzhubs bei Empfang eines frequenzmodulierten Senders

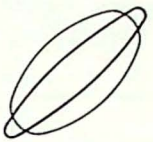
Bei frequenzmodulierten Sendern interessiert zunächst der Frequenzhub, d. h. der Frequenzbetrag, um den die Hochfrequenzschwingung vergrößert bzw. verkleinert wird. Die Messung erfolgt am einfachsten unter Verwertung der Resonanzkurve eines geeichten Schwingungskreises nach Bild 137. Die Spannung eines durch einen Frequenzmodulator gesteuerten Senders erregt den in seinen Daten genau bekannten Schwingungskreis LC, dessen Span-

nung an den Vertikalplatten des Oszillografen liegt. Die Horizontalplatten sind mit einem Kippgerät verbunden, das mit dem Frequenzmodulator synchron läuft. Die Anordnung entspricht grundsätzlich der bereits auf S. 94 beschriebenen Schaltung zur Darstellung von Frequenzkurven. Auf dem Leuchtschirm erscheint das Bild der Resonanzkurve des Kreises LC. Wenn man beide Koordinaten genau eicht, kann man den Frequenzhub bestimmen.



Links Bild 139: Schaltung zur Untersuchung einer frequenzmodulierten Schwingung

Rechts Bild 140: Leuchtschirmbild zu Bild 139



In ähnlicher Weise geht man auch beim Empfang eines frequenzmodulierten Senders vor. Die Hochfrequenz wird so lange verstärkt, bis sie zur Steuerung des Leuchtschirms ausreicht. Weist der Sender eine beliebige Modulation auf, so ist es allerdings schwer, ein feststehendes Leuchtschirmbild zu erhalten, weil jedes Kriterium zur Synchronisierung fehlt. Ist dagegen die Modulationsfrequenz konstant und harmonisch, so kann man mit dem Schwingungskreis lose einen Demodulator koppeln, dessen Ausgangsspannung im Rhythmus der Modulationsfrequenz schwankt und daher zur Synchronisierung geeignet ist. Die grundsätzliche Schaltung zeigt Bild 138.

Sehr gute Dienste leistet der Oszillograf bei der Untersuchung der Zwischenfrequenzstufen und des Diskriminators in einem Empfänger für Frequenzmodulation. Hierfür wird vor allem ein Wobbelsender benötigt, und man arbeitet grundsätzlich nach den Angaben von Abs. 2. Besondere Bedeutung hat die Sichtbarmachung der Bandfilter- und FM-Demodulatorkurven (Kennlinie des Diskriminators).

Eine einfache Untersuchungsmethode für eine frequenz- oder phasenmodulierte Schwingung ist in Bild 139 dargestellt. Man gibt die frequenzmodulierte Schwingung auf das vertikale Plattenpaar, während man an das horizontale Plattenpaar die Spannung eines unmodulierten, aber gleichfrequenten Senders legt. Beide Generatoren laufen synchron, ihre gegenseitige Phasenlage kann über einen Phasenschieber verändert werden. Auf dem Leuchtschirm stellen sich atmende Ellipsen nach Bild 140 ein, aus deren Hüllkurve die näheren Daten der Frequenzmodulation bestimmt werden können. Auch die gleichzeitige Anwesenheit von Amplituden- und Frequenzmodulation ist dem Leuchtschirmbild zu entnehmen.[16])

[16]) Näheres siehe Gutzmann, Lorenzberichte 1936, H. 3, 4, S. 69.

Ein anderes interessantes Verfahren[17]) zur Sichtbarmachung mehrerer Modulationsarten ist in Bild 141 dargestellt. Die zu untersuchende amplitudenmodulierte Schwingung U_1 wird einerseits den Vertikalplatten der Katodenstrahlröhre unmittelbar, anderseits über einen Phasenschieber, um 90^0 verschoben, den Horizontalplatten zugeführt. Auf dem Leuchtschirm würde also bei fehlender Modulation ein Kreis entstehen, der zu einer Spirale ausartet, wenn die Schwingung amplitudenmoduliert ist. Die Differenz zwischen dem innersten und dem äußersten Spiralengang ist dabei ein Maß für den Modulationsgrad.

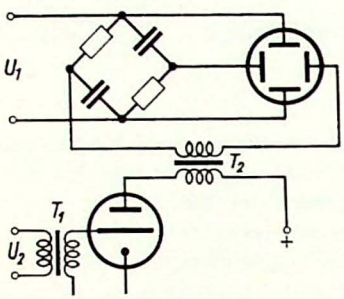


Bild 142: Leuchtschirmbild zu Bild 141

Links Bild 141: Untersuchung von Frequenz- und Amplitudenmodulation

Um zu prüfen, ob die Schwingung gleichzeitig frequenzmoduliert ist, schaltet man in Reihe mit der Spannung für die Horizontalplatten noch einen Zeitmarkenimpuls, der von einem unmodulierten Sender (Spannung U_2) herrührt. Die in Bild 141 gezeigte Röhrenstufe hat den Zweck, die Spannung in einen möglichst kurzen Impuls zu verformen, was durch geeignet bemessene Transformatoren T_1 und T_2 leicht erzielt werden kann. Die Zeitmarken kommen in Strichmarkierungen etwa nach Bild 142 zum Ausdruck. Sind die Frequenzen von U_1 und U_2 gleichgroß und synchron, so bildet sich eine senkrecht untereinander liegende Folge von Zeitmarkierungen aus, wenn die Spannung U_1 keine Frequenzmodulation aufweist; beide Spannungen haben dann nämlich ganz unabhängig von der Amplitudenmodulation dieselbe Phase. Ist U_1 jedoch zusätzlich frequenzmoduliert, so liegen die Zeitmarkierungen auf einer gekrümmten Kurve (Bild 142), da je nach der jeweiligen Frequenzmodulation eine mehr oder weniger große Phasenabweichung zwischen U_1 und U_2 besteht. Das Verfahren bildet somit ein ausgezeichnetes Hilfsmittel zur Überwachung sowohl reiner Amplituden- als auch reiner Frequenzmodulation, weil beide Arten im Oszillogramm getrennt zum Ausdruck kommen.

---

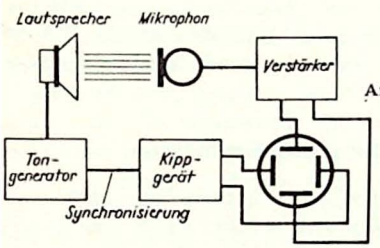
[17]) Heilmann, ENT 8, 1931, S. 469.

III. Anwendungen in der Elektroakustik

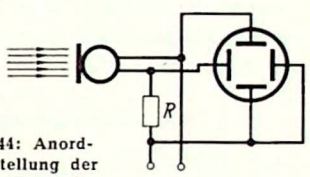
Die Anwendungen des Katodenstrahloszillografen in der Elektroakustik sind für den Radiotechniker ebenfalls von großer Bedeutung. Wir besprechen hier nur jene Verfahren, mit denen der Radiopraktiker hauptsächlich zu tun hat.

1. Untersuchung von Mikrofonen

Die Untersuchung von Mikrofonen bedient sich der schon im Rahmen dieses Buches verschiedentlich erwähnten Verfahren. Man ordnet nach Bild 143 vor dem zu untersuchenden Mikrofon einen Meßlautsprecher an, dessen Frequenzcharakteristik genau bekannt ist. Das Mikrofon wird über einen Verstärker mit den Vertikalplatten verbunden. Der Lautsprecher wird aus einem Tongenerator gespeist, der mit dem Kippgerät synchron läuft, das zur Zeitablenkung an den Horizontalplatten liegt. Auf dem Leuchtschirm zeigt sich nunmehr der zeitliche Verlauf der Ausgangsspannung des Mikrofons, wobei angenommen ist, daß die Schallwellen rein sinusförmig sind und daß der Verstärker keine Verzerrungen aufweist. Die Auswirkung von Änderungen an den elektrischen Daten des Mikrofons (Vorspannung usw.) kann am Leuchtschirmbild sofort in Form von Amplituden- oder Formänderungen der Kurve beobachtet werden. Das gilt natürlich auch für mechanische Eingriffe, z. B. Membranspannung, Druckänderungen usw.



Links Bild 143: Anordnung zur Untersuchung von Mikrofonen



Rechts Bild 144: Anordnung zur Darstellung der Mikrofon-Charakteristik

Selbstverständlich läßt sich auch die Stromspannungskurve des Mikrofons aufnehmen, indem man nach Bild 144 die Mikrofon-Wechselspannung an die Vertikalplatten, die Stromkomponente (über einen Widerstand R mit eventuell anschließendem Verstärker) an die Horizontalplatten (oder umgekehrt) anschließt. Diese Methode wurde schon verschiedentlich bei anderen Gelegenheiten erwähnt. Das Mikrofon wird von einem Lautsprecher konstant erregt. Durch stetiges Verändern der Frequenz des Tongenerators kann man den Frequenzgang beobachten, gegebenenfalls nach einem der auf S. 94 angegebenen Verfahren auch als stehendes Bild auf den Leuchtschirm schreiben. Voraussetzung dabei ist auf alle Fälle eine konstante Schallamplitude, was unbedingt überwacht werden muß.

2. Untersuchung von Tonabnehmern

Zur Untersuchung von Tonabnehmern verwendet man zweckmäßigerweise Frequenzschallplatten für Meßzwecke, die in kontinuierlicher Folge die Tonfrequenzen von 50...10 000 Hz enthalten. Die am Tonabnehmer auftretende Meßspannung wird nach entsprechender Verstärkung auf die Vertikalplatten des Oszillografen gegeben. Da das Abspielen der Meßplatten mehrere Minuten dauert, muß man den sich ergebenden Leuchtstrich fotografisch registrieren, was mit einer geeigneten Optik und einer Trommelregistriereinrichtung vorgenommen werden kann. Das Verfahren hat natürlich nur in Sonderfällen Interesse. Es liefert eine genaue Frequenzkurve des Tonabnehmers und läßt Resonanzstellen, Oberwellen usw. sehr gut erkennen.

Die abgegebene Wechselspannung kann leicht auf dem Leuchtschirm als stehendes Bild geschrieben werden, wenn man eine Meßplatte mit konstanter Frequenz verwendet und das Kippgerät mit der Spannung des Tonabnehmers synchronisiert. Die sich ergebende Kurve liefert nicht nur Anhaltspunkte für den Klirrfaktor, sondern auch für die Größe des Nadelgeräusches, das durch eine Überlagerung der Nutzspannung mit einem breiten Band hoher Frequenzen zum Ausdruck kommt. Da beide Spannungen im Oszillogramm leicht voneinander getrennt werden können, ist auch die Bestimmung des oft interessierenden Spannungsverhältnisses möglich, so daß Änderungen am Tonabnehmer während der Untersuchung zahlenmäßig erfaßt werden können.

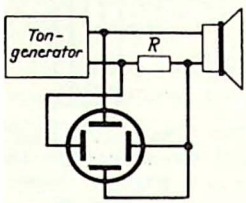
Bezüglich Registrierung von Frequenzkurven sei auf das auf S. 119 erwähnte Magnetton-Kompressionsverfahren verwiesen, das im Prinzip auch hier anwendbar ist.

3. Untersuchung von Lautsprechern und Kopfhörern

Bei der Untersuchung von elektroakustischen Schallsendern geht man umgekehrt vor wie bei der Untersuchung von Mikrofonen. Auch hier unterscheidet man grundsätzlich zwischen der Aufnahme der Stromspannungscharakteristik und der Aufnahme des Frequenzgangs bzw. der Form des zeitlichen Verlaufs der ausgesandten Schallschwingung.

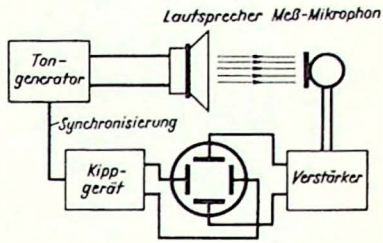
Die Aufnahme der Stromspannungskennlinie ist wertvoll, wenn man den akustischen Wirkungsgrad beurteilen will. Die erforderliche Schaltung, die grundsätzlich nichts Neues bringt, ist in Bild 145 dargestellt. Ein Tongenerator erregt den Lautsprecher, die Spannung liegt am Vertikalplattenpaar, die Stromkomponente am Horizontalplattenpaar. Sie wird als Spannungsabfall am Widerstand R erzeugt und gegebenenfalls vorher verstärkt. Je mehr Schalleistung der Lautsprecher bei gleicher zugeführter elektrischer Leistung abgibt, um so kleiner ist die Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung, um so kleiner wird also der Inhalt der von der entstehenden

Ellipse umschlossenen Fläche. Man kann diese Zusammenhänge sehr gut beobachten, wenn man den Lautsprecher einmal mit festgehaltener und danach mit freier Membran untersucht. Auch die Lautsprecherimpedanz und die Leistung können nach den schon auf S. 84 dargestellten Richtlinien ermittelt werden.



Links Bild 145: Schaltung zur Aufnahme von Lautsprecherkennlinien

Rechts Bild 146: Schaltung zur Aufnahme des Frequenzgangs und des Klirrfaktors von Lautsprechern



Will man den Frequenzgang oder die Kurvenform der akustischen Schwingungen untersuchen, so muß man zu einer Schaltung nach Bild 146 greifen. Der von einem Tongenerator erregte Lautsprecher wirkt auf ein Meßmikrofon, dessen Ausgangsspannung nach vorheriger Verstärkung den Vertikalplatten zugeführt wird. Das an den Horizontalplatten liegende Kippgerät ist mit dem Tongenerator synchronisiert. Auf dem Leuchtschirm ergibt sich das Oszillogramm der Schallschwingung des Lautsprechers, vorausgesetzt, daß Frequenzgang und Verzerrungen des Mikrofons und des Verstärkers vernachlässigt werden können.

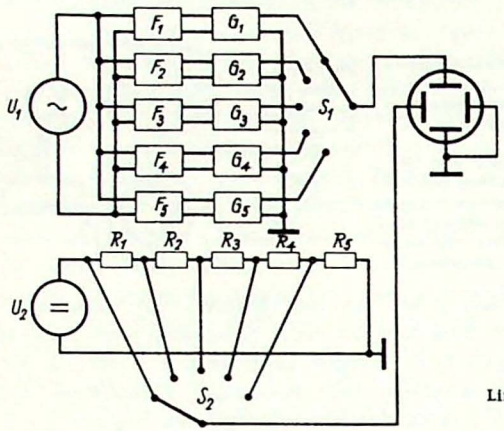
Will man den Frequenzgang aufnehmen, so fällt das Kippgerät weg, wenn man nicht über einen Heultongenerator verfügt, der das Niederfrequenzband bestreicht und mit dem Kippgerät synchronisiert wird. In diesem Fall ergibt sich ein stehendes Kurvenbild des Frequenzgangs. Ist ein Heultongenerator nicht vorhanden, so muß man entweder nach dem Verfahren mit nachleuchtender Röhre (siehe S. 94) vorgehen und den Frequenzgang durch langsames Verändern der Meßfrequenz sichtbar machen, oder aber man muß zu der schon öfter erwähnten fotografischen Registrierung greifen.

Für die Untersuchung von Kopfhörern gelten dieselben Gesichtspunkte. Natürlich muß man in diesem Fall das Meßmikrofon sehr nahe an die Kopfhörermembran heranbringen, damit man den Kopfhörer mit der betriebsmäßigen Lautstärke betreiben kann, um Übersteuerungen zu vermeiden.

4. Oszillografische Klanganalyse

Die Analyse von Klangkurven ist eine der interessantesten und technisch wichtigsten Anwendungsgebiete des Katodenstrahloszillografen. Mit Hilfe geeigneter Zusatzeinrichtungen ist es nämlich möglich, alle in einem Frequenzgemisch (im Tonfrequenzbereich auch Klang genannt) steckenden Oberwellen in Form eines Linienspektrums darzustellen.

Der Gedanke ist sehr einfach; er kommt in dem Prinzipschaltbild von Bild 147 zum Ausdruck. Die zu analysierende Spannung U_1 liegt an einer Reihe von Einzelfiltern $F_1 ... F_5$, die jeweils auf die mutmaßlichen, in U_1 ent-



Links Bild 147: Prinzipschaltung eines Frequenzanalysators

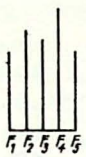


Bild 148: Das mit Schaltung Bild 147 erhaltene Linienspektrum

haltenen Oberwellen in steigender Ordnungszahl abgestimmt sind. Die Filter müssen so beschaffen sein, daß sie bei Erregung mit ihrer Abstimmfrequenz maximale Spannungen abgeben; im einfachsten Fall handelt es sich also um Parallelschwingungskreise. Den Ausgängen der Filter ist jeweils ein Gleichrichter ($G_1 ... G_5$) zugeordnet. Mit Hilfe eines rotierenden Schalters S_1 werden nun die Einzelspannungen in schneller Folge abgegriffen und den Vertikalplatten der Katodenstrahlröhre zugeführt. Synchron mit S_1 läuft der Schalter S_2, der von dem Spannungsteiler $R_1 ... R_5$ jeweils einen gleich großen Bruchteil der Gleichspannung U_2 abgreift und den Horizontalplatten zuführt. Demnach springt der Strahl jeweils ein gleich großes Stück in horizontaler Richtung, wenn der Ausgang eines anderen Filters bzw. Gleichrichters an die Vertikalplatten gelegt wird. Die Folge davon ist die Aufzeichnung von scheinbar nebeneinander stehenden senkrechten Linien nach Bild 148, deren Länge ein Maß für die Amplitude des gerade eingeschalteten Filters ist. Voraussetzung für das einwandfreie Arbeiten bildet natürlich eine gegenüber der Ruhelage der Schaltarme kurze Umschaltzeit, damit praktisch nur die Linien sichtbar werden, das Umschalten dagegen unsichtbar bleibt. Durch geeignete Schalter läßt sich das leicht erreichen. Selbstverständlich kann die Umschaltung auch mit gesteuerten Elektronenröhren erfolgen. Die Umschaltfrequenz muß so groß sein, daß das Auge den Eindruck eines stehenden Bildes hat.

In Bild 147 sind nur fünf Filter dargestellt. Je mehr Filter verwendet werden, um so feiner wird das Spektrum unterteilt und um so leichter läßt

es sich auswerten. In den heute von verschiedenen Firmen hergestellten Spezialgeräten, z. B. den Tonfrequenzspektrometern, ist der soeben beschriebene Gedanke in sinnreicher Weise verwirklicht.

Bis jetzt sind fast nur Anordnungen bekannt geworden, die den Tonfrequenzbereich überstreichen. Es sollen etwa auf je eine Oktave drei Filter treffen; sie sind also annähernd logarithmisch über das ganze Tonfrequenzgebiet verteilt.

So einfach das soeben dargestellte Prinzip ist, so schwierig gestaltet sich seine praktische Verwirklichung. Es setzt ganz erhebliche Kenntnisse und Erfahrungen, vor allem in der Filtertechnik, voraus, so daß ein Selbstbau kaum in Betracht kommt. Dagegen läßt sich ein fertiges Spektrometer sehr leicht bedienen und die Auswertung ist ebenfalls einfach. Ein fertiges Gerät — das allerdings nicht billig ist — kann daher in der Elektroakustik ausgedehnte Anwendung finden. Man braucht nur an die Untersuchung verzerrter Schallschwingungen oder elektrischer Spannungen zu denken. Während die Frequenzanalyse sonst derart vor sich geht, daß man an Hand des Oszillogramms der verzerrten Schwingungen eine langwierige Fourieranalyse durchführen muß, wird das Ergebnis selbst ohne jede Rechnung auf dem Leuchtschirm des Tonfrequenzspektrometers sichtbar. Das bedeutet bei Reihenuntersuchungen natürlich eine nicht zu unterschätzende Zeitverkürzung.

Die in Bild 147 dargestellte Schaltung läßt sich natürlich in mannigfacher Form variieren. So kann man z. B. die relativ schwachen Ausgangsspannungen der Gleichrichter $G_1 ... G_5$ auf den Eingang einer Mischstufe schalten und sie einem Träger aufmodulieren; ein nachgeschalteter Trägerfrequenzverstärker, dessen Durchlaßbreite dem Frequenzabstand der am höchsten und tiefsten abgestimmten Filter entsprechen muß, setzt dann die Teilspannungen entsprechend herauf, wonach eine weitere Demodulation erfolgt. Diese Schaltung wird oft angewendet. An Stelle der Einzelfilter ist auch die Verwendung eines in seiner Frequenz kontinuierlich veränderbaren Filters möglich; ist dieses z. B. mit einem rotierenden Kondensator ausgestattet, so kann man diesen mit einem Motor antreiben und dessen Geschwindigkeit mit der Frequenz eines Kippgerätes synchronisieren, das zur Zeitablenkung herangezogen wird. Die Schalter kann man dann entbehren, und es entsteht auf dem Schirm ein kontinuierliches Spektrum der betreffenden Schwingung.

5. Nachhalluntersuchungen

Der in einem Raum vorhandene Nachhall ist von entscheidender Bedeutung für die akustischen Raumeigenschaften. Man kann zwar durch Händeklatschen, eine Knallpistole und Messen mit der Stoppuhr die ungefähre Nachhallzeit erfassen; dabei gehen jedoch alle Feinheiten der Nachhall-

kurve selbst verloren, die für eine zuverlässige Beurteilung von großer Wichtigkeit sind.

Der Katodenstrahloszillograf ist das gegebene Instrument für derartige Untersuchungen; es gibt verschiedene Verfahren, von denen wir die wichtigsten besprechen wollen.

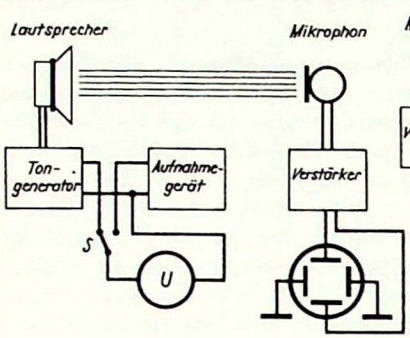
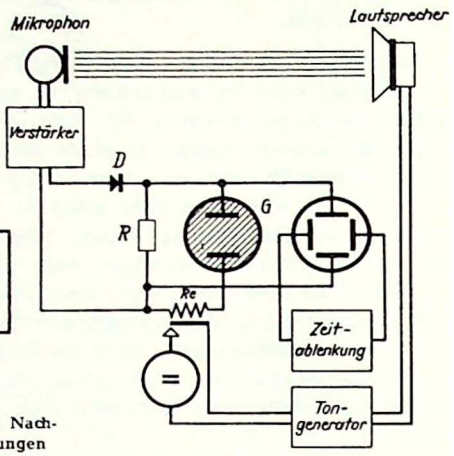


Bild 149: Schaltung zur Aufnahme von Nachhallkurven



Rechts Bild 150: Schaltung zur Messung der Nachhallzeit durch raumakustische Kippschwingungen

Die einfachste Anordnung ist in Bild 149 dargestellt. Der den Lautsprecher betreibende Tongenerator wird von der Betriebsspannung U gespeist und tritt in der linken Stellung des Schalters S in Tätigkeit. Der Ton bleibt solange eingeschaltet, bis alle akustischen Einschwingvorgänge in dem zu untersuchenden Raum beendet sind. Ein Mikrofon wird über einen Verstärker an die Vertikalplatten des Oszillografen gelegt und erzeugt auf dem Leuchtschirm einen Spannungsstrich, dessen Länge der Schallamplitude proportional ist.

Vor dem Leuchtschirm befindet sich eine Registriertrommel. Wird nun der Schalter S nach rechts umgeschaltet, so wird der Tongenerator ab- und die Registriertrommel eingeschaltet. Es entsteht dann ein Oszillogramm der Nachhallkurve mit allen Feinheiten auf dem Leuchtschirm.

An Stelle der Registriertrommel kann auch eine gewöhnliche Kamera treten, wenn an die vertikalen Platten ein zeitlineares Kippgerät gelegt wird, das den Strahl mit einer der vermutlichen Nachhalldauer entsprechenden Geschwindigkeit zusätzlich ablenkt. Die Ablenkung muß im Augenblick des Umschaltens von S ausgelöst werden. Ein stehendes Bild läßt sich auf dem Leuchtschirm nicht erzeugen, weil der Nachhallvorgang zu lange dauert. Dagegen kann gegebenenfalls von dem Verfahren mit nachleuchtendem Leuchtschirm (siehe Seite 94) Gebrauch gemacht werden.

Eine andere Methode beruht auf dem Echoprinzip. Man sendet impulsförmige periodische Schallstöße aus, die von einem Mikrofon aufgenommen und verstärkt auf die Horizontalplatten gegeben werden. Ein Kippgerät für die Vertikalablenkung wird mit der Schallstoßfrequenz synchronisiert, so daß sich ein stehendes Bild ergibt. Auf dem Schirm werden der direkte Impuls und die reflektierten Zeichen sichtbar; aus dem längenmäßigen Abstand der Impulse, der durch die Laufzeit des Echos und die Kippfrequenz gegeben ist, kann auf die Echowege und damit auf die Nachhallzeit geschlossen werden.

Eine interessante Methode[18]) zur Bestimmung der Nachhallzeit ergibt sich aus Bild 150. Ein Lautsprecher wird von einem Tongenerator erregt. Mit zunehmender „Aufladung" des Raumes mit Schallenergie wächst die vom Mikrofon aufgenommene Spannung, die in einem Verstärker heraufgesetzt und über einen Detektor D gleichgerichtet wird, so daß an R ein entsprechend großer Spannungsabfall auftritt. Dieser wird in vertikaler Richtung auf dem Leuchtschirm aufgezeichnet. Hat die Spannung an R den Maximalwert erreicht, der dem eingeschwungenen akustischen Zustand des Raumes entspricht, so zündet die Glimmlampe G. Infolgedessen fließt ein Strom durch die Wicklung des Relais Re, dessen Anker anzieht, so den Lautsprecher unterbrechend. Infolgedessen wird nunmehr die Spannung an R,

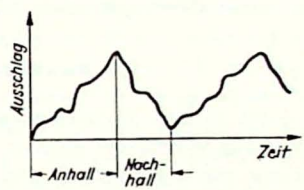


Bild 151: Verlauf von Anhall und Nachhall bei Benützung der Schaltung Bild 150

dem Nachhall entsprechend, abklingen, so daß der Strich langsam kleiner wird. Ist die Löschspannung der Glimmlampe erreicht, so wird der Lautsprecher wieder eingeschaltet usw. Der Vorgang wiederholt sich also mit einer durch die Nachhallzeit bzw. Anhallzeit des Raumes gegebenen Frequenz, weshalb man den Begriff der „raumakustischen Kippschwingungen" geprägt hat. Eine Zeitablenkung an den Horizontalplatten, die mit dem Vorgang synchronisiert ist, sorgt für eine gleichzeitige Horizontalablenkung des Strahles, so daß auf dem Schirm das Oszillogramm des Anhalls und Nachhalls nach Bild 151 entsteht. Bei Verwendung einer nachleuchtenden Röhre erhält man ein sichtbares Schirmbild. Der Widerstand der Relaiswicklung Re muß groß sein gegenüber dem Widerstand der gezündeten Glimmlampe, damit die Feinheiten der Abklingkurve nicht verlorengehen.

Mit den vorstehend beschriebenen Verfahren lassen sich auch die akustischen Eigenschaften schwingungsfähiger Gebilde bestimmen, z. B. von Hohl-

[18]) Hollmann-Schultes, ENT 8, 1931, H. 11, S. 494.

räumen, Resonatoren usw., denn die Größe der Nachhallzeit ist ein Maß für die Dämpfung und Eigenschwingung solcher Anordnungen.

6. Oszillografische Darstellung der Sprache

Ein bemerkenswerter amerikanischer Versuch[19]) für die Verständigung mit Gehörlosen scheint den Anwendungsbereich des Katodenstrahloszillografen zu erweitern. Das Versuchsgerät hat die Aufgabe, Vokale und Konsonanten der Sprache eines Menschen in charakteristischer bildlicher Darstellung zu zeigen. Zu diesem Zweck wird die Sprache in einem Mikrofon aufgenommen; die Sprachschwingungen werden nach Art des Tonfrequenzspektrometers auf eine Kette von Einzelfiltern gegeben, so daß jeweils das Spektrum der einzelnen Laute auf dem Leuchtschirm erscheint. Die Katodenstrahlröhre, eine Spezialkonstruktion, rotiert um ihre eigene Achse und läßt die Sprache in einer Art Laufschrift sichtbar werden. Vokale erzeugen z. B. Bilder in Form von horizontalen Balken, Konsonanten liefern Moireé-Muster. Nach den Angaben der Autoren soll eine bildliche Unterhaltung zwischen Gehörlosen und Gesunden nach einer Ausbildungszeit von 126 Unterrichtsstunden mit einer Geschwindigkeit von 90 bis 120 Worten in der Minute möglich sein. Auch für sonstige akustische Untersuchungen ist dieses Gerät geeignet. Die weitere Entwicklung muß abgewartet werden.

7. Anwendung in der Magnettontechnik

Auch in der Magnettontechnik kann der Katodenstrahloszillograf nutzbringend verwendet werden. Dieses Gebiet hat sich gerade in den letzten Jahren stark entwickelt und große Verbreitung gefunden, so daß die diesbezügliche Anwendung des Oszillografen für den Praktiker von Interesse ist.

Die in der Magnettontechnik vorkommenden Verstärker müssen bekanntlich bestimmten Anforderungen bezüglich des Frequenzgangs genügen. Es sei nur auf die Frequenzabhängigkeit des Aufsprech- und Wiedergabevorgangs verwiesen. Will man beispielsweise dem Wiedergabeverstärker einen ganz bestimmten Frequenzgang erteilen, so bedient man sich zweckmäßigerweise des auf Seite 92 beschriebenen Wobbel-Verfahrens. Der Frequenzgang des Verstärkers erscheint dann auf dem Leuchtschirm, und man kann die Auswirkung von Änderungsmaßnahmen sofort erkennen.

Eine andere Anwendung findet der Oszillograf bei der Einstellung der Tonkopfspalten. Hier ist vor allem die Trägheitslosigkeit der Anzeige besonders vorteilhaft. Weiterhin kann der Oszillograf bei der Bestimmung nichtlinearer Verzerrungen wertvolle Dienste leisten, die im Hinblick auf die in einem Magnettongerät zahlreich vorkommenden Eisenkerne (bei den

[19]) „Sonnel spectograph", Sonderheft des Journal of the acustical society of America, Juli 1946.

Sprechkopfübertragern, Hörkopfübertragern usw.) besonders bedeutungsvoll sind. Oszillografiert man die Ausgangsspannung des Verstärkers, so erkennt man sofort aus der Kurvenform, ob eventuelle Verzerrungen durch ungünstig bemessene Übertrager hervorgerufen werden.

Auch der Stromverlauf im Sprechkopf läßt sich oszillografieren, wenn man in die Sprechkopfleitung einen kleinen ohmschen Widerstand legt, den Spannungsabfall in einem Meßverstärker heraufsetzt und die verstärkte Spannung oszillografiert.

Besonders wertvoll ist der Oszillograf bei der Untersuchung von Laufwerk-Ungenauigkeiten. Man bespricht das Band mit einer Tonfrequenzspannung von absolut konstanter Frequenz. Gleichzeitig wird das aufgesprochene Band abgetastet. Die vom Hörkopf stammende, entsprechend verstärkte Spannung führt man dem einen Ablenkplattenpaar der Oszillografenröhre zu. An das andere Ablenkplattenpaar wird die zum Aufsprechen verwendete Spannung gelegt. Bei laufendem Band bildet sich auf dem Leuchtschirm unter dem Einfluß der beiden Komponenten eine Lissajous-Figur, deren Form vom Verhältnis der beiden Spannungen und von deren gegenseitiger Phasenlage abhängt, wie wir das schon auf Seite 82 gelesen haben. Nur bei absolut konstanter Bandgeschwindigkeit wird diese Figur vollkommen stillstehen. Die geringste Geschwindigkeitsschwankung macht sich durch Drehen oder Pendeln der Figur bemerkbar. Nimmt die Bandgeschwindigkeit während der Aufnahme langsam, aber gleichförmig zu oder ab, so wird sich die Figur langsam nach der einen oder anderen Richtung drehen. Die Drehgeschwindigkeit entspricht der Differenz zwischen der ursprünglichen, konstanten Eingangsfrequenz und der Frequenz, die sich beim Abtasten des Bandes ergibt. Ein rhythmisches Pendeln der Leuchtschirmfigur deutet auf eine Unruhe des Laufwerkes hin, die meist in nicht ausreichender Präzision der Mechanik ihre Ursache hat. Alle diese Erscheinungen lassen sich mit Hilfe des Oszillografen nicht nur beobachten, sondern auch meßtechnisch auswerten. Das ist speziell zur Bestimmung des Wobbelgrades von Tonbandgeräten wichtig, wenn kein Wobbelgradmesser zur Verfügung steht.

Der Oszillograf kann schließlich mit Vorteil zur Analyse eventueller Störgeräusche verwendet werden. Tonbandgeräte erzeugen mitunter typische Störspannungen, für die u. a. die Struktur des Tonbandes verantwortlich ist. Eine oszillografische Untersuchung des Bandrauschens liefert beispielsweise wertvolle Aufschlüsse für die Herstellerfirmen der Bänder und erleichtert somit die technologische Auswertung. Ein Tonband bestimmter Beschaffenheit wird stets ein typisches Bandrauschen erzeugen, das sich unter Zuhilfenahme von Oszillogrammen besonders leicht auswerten und deuten läßt. Derartige Methoden kommen allerdings hauptsächlich in Forschungslaboratorien unter Zuhilfenahme weiterer Spezialgeräte zur Anwendung.

IV. Anwendungen in Grenzgebieten

Die nachstehend kurz skizzierten Anwendungen sollen einen Überblick über sonstige Gebiete geben, in denen der Katodenstrahloszillograf wichtige Funktionen zu erfüllen hat. Wir müssen natürlich unter Hinweis auf die Spezialliteratur weite Gebiete der Elektronik übergehen, berücksichtigen aber besonders die jetzt sehr bedeutsame Fernsehtechnik.

1. Fernsehtechnik und Impulstechnik

Auf die hervorragende Bedeutung, die die Katodenstrahlröhre als Bildschreiber in der Fernseh-Empfangstechnik besitzt, soll hier nicht weiter eingegangen werden. Bei der Untersuchung und Reparatur von Fernseh-Sende- und Empfangsgeräten bildet der Katodenstrahloszillograf jedoch ebenfalls ein unentbehrliches Hilfsmittel. Wenn es sich beispielsweise darum handelt, die zeitliche Form und Länge von Synchronisier- und Videoimpulsen zu ermitteln, ist nur die oszillografische Methode brauchbar. Auch die Arbeitsweise von Amplitudensieben, Kippgeräten, Fernsehverstärkern usw. kann mit dem Katodenstrahloszillografen leicht und eindeutig geprüft werden. Darüber hinaus kann man das Oszillogramm eines ganzen Fernsehbildes auf dem Leuchtschirm sichtbar machen.

Nachstehend wollen wir auf die Fragen eines speziellen Fernseh-Oszillografen etwas näher eingehen. Handelt es sich um die oberflächliche Prüfung eines fertigen Gerätes oder um das Aufsuchen von Fehlern, so kommen die heute auf dem Markt befindlichen, für diesen Zweck entwickelten Ausführungen in Frage. Bei genaueren Untersuchungen, wie sie nicht nur in den Entwicklungslaboratorien der Industrie, sondern auch in der Praxis des Fernsehtechnikers in Betracht kommen, sind die Anforderungen an den Oszillografen aber wesentlich strenger; für diese Zwecke sind hochwertige Spezialgeräte notwendig.

Als Oszillografenröhren genügen die jetzt auf dem Markt befindlichen Typen vollständig. Sie sind grundsätzlich bis zu Frequenzen von 300 MHz brauchbar, so daß sogar die Untersuchung des UKW-Teils möglich wäre. Im allgemeinen wird das jedoch nur in Sonderfällen in Betracht kommen, weil die Verstärkung kleiner UKW-Amplituden einen erheblichen Aufwand erfordert. Um eine ausreichende Auflösungsgenauigkeit zu haben, verwendet man zweckmäßigerweise eine Röhre von 13 cm Schirmdurchmesser. Bei einem Durchmesser von 10 cm und einem Punktdurchmesser von etwa 0,5 mm läßt sich das Auflösungsvermögen so steigern, daß es der Ablesegenauigkeit eines Meßinstrumentes von kleiner als 1 % entspricht. Diese Genauigkeiten reichen auch in der Fernsehtechnik vollkommen aus [19a]).

[19a]) Mangold, Moderne Breitbandoszillographen. Rohde & Schwarz-Mitteilungen, 1952, H. 2, S. 98

Die Forderungen an den Verstärker für die Meßplatten (y-Verstärker) sind sehr groß, wenn der Oszillograf auf dem Fernsehgebiet wirklich einwandfrei arbeiten soll. Das Frequenzspektrum reicht bekanntlich von 0 bis etwa 6 MHz. Das bedeutet, daß der Verstärker innerhalb eines Bandes von mindestens 6 MHz einen horizontalen Frequenzgang und eine konstante Laufzeit besitzen muß, wenn man auch auf die Wiedergabe der allerhöchsten Frequenzen Wert legt. Die Industrie bringt daher heute schon Oszillografen auf den Markt, deren y-Verstärker bis zu einer Frequenz von 10 MHz verwendbar ist. Die untere Grenzfrequenz braucht jedoch nicht bei 0 Hz zu liegen, d. h. eine Gleichspannungsverstärkung ist nicht erforderlich. Selbst Spezialoszillografen haben daher eine untere Grenzfrequenz von etwa 3 Hz. Es sei jedoch ausdrücklich bemerkt, daß die soeben erwähnten Frequenzgrenzen nur dann wirklich sinnvoll sind, wenn man selbst Einzelheiten kurzzeitiger Videosignale naturgetreu oszillografieren will. Für Reparaturzwecke sind die Anforderungen wesentlich geringer. Hier kommt es nur darauf an, die Form der Synchronisier- und Austastzeichen für die horizontale und vertikale Ablenkung einwandfrei und unverzerrt zu reproduzieren. In bezug auf die Horizontalimpulse bedeutet das dann nur noch eine Bandbreite von höchstens 1 bis 2 MHz.

Für die untere Grenzfrequenz ergibt sich bei näherer Betrachtung, daß eine Rechteckspannung bei einer Grundfrequenz von 25 Hz (Seitenverhältnis von 1 : 1) mindestens so wiedergegeben werden muß, daß bei den horizontalen Kurventeilen höchstens ein fünfprozentiger Abfall in bezug auf die Nullinie auftritt. Bei einer unteren Grenzfrequenz von 3 bis 5 Hz ist diese Forderung mit Sicherheit erfüllt. Die heute zur Verfügung stehenden Verstärkerschaltungen gewährleisten die Einhaltung dieser Bedingung mit großer Sicherheit.

Für die Beurteilung der Brauchbarkeit des Oszillografenverstärkers bei sehr hohen Frequenzen ist der Verlauf des Anstiegs eines idealen Rechtecksprunges, den man auf den Eingang des Verstärkers gibt, maßgebend. Besitzt der Verstärker eine endliche Bandbreite, so wird die Anstiegszeit nicht unendlich kurz sein, sondern ebenfalls einen endlichen Wert haben. Auf Grund bestimmter Vereinbarungen [19b]) mißt man die Anstiegszeit von 10 bis 90 % der Endamplitude. Die Bandbreite des Verstärkers läßt sich auf Grund einer einfachen Beziehung ohne weiteres aus der Anstiegszeit der Rechteckkurve am Ausgang des Verstärkers angeben. Diese Beziehung lautet für ein Überschwingen $< 5\,\%$:

$$b = \frac{0{,}35}{t} \tag{29}$$

[19b]) Standards and Television, Proceedings of IRE, 1950, Novemberheft, s. 1258.

Darin bedeutet b die Bandbreite des Verstärkers, die dadurch definiert wird, daß bei der oberen bzw. unteren Grenzfrequenz ein Abfall von 3 Dezibel ($\sim 1/\sqrt{2}$) besteht. t ist die Anstiegszeit des Verstärkers. Gute Oszillografen sollen so bemessen sein, daß der y-Verstärker möglichst eine kleinere Anstiegszeit als 10^{-7}sec aufweist. Wie man sieht, bietet das auch in der allgemeinen Verstärkertechnik immer mehr angewendete Verfahren der Prüfung mit Rechteckspannungen ein vorzügliches Mittel, um mit Hilfe des Oszillografen die Bandbreite eines Übertragungsorgans zu beurteilen.

Besonders wichtig ist, daß der y-Verstärker kein „Überschwingen" zeigt. Man versteht darunter die Erscheinung, daß die Rechteckspannung an den Umkehrpunkten nicht glatt, sondern mit überlagerten Schwingungen verläuft. Wenn auch in Fernsehgeräten ein Überschwingen innerhalb bestimmter Grenzen manchmal als vorteilhaft empfunden wird, muß es doch in Meßgeräten, also auch in Oszillografenverstärkern, so weit wie möglich unterdrückt werden. Gute Fernseh-Spezialoszillografen zeigen daher in ihren y-Verstärkern kein größeres Überschwingen als etwa 2 %. Das erfordert allerdings nicht nur eine ausreichende amplitudenmäßige Bandbreite, sondern auch eine konstante Laufzeit innerhalb des betreffenden Frequenzbandes. Hierfür wiederum ist Voraussetzung, daß der Phasengang linear mit der Frequenz innerhalb des interessierenden Bandes verläuft[19c]).

Der erforderliche Verstärkungsgrad der y-Verstärker von Fernseh-Oszillografen liegt zwischen 100 und 1000. Der Eingangswiderstand soll natürlich so groß wie möglich sein, mindestens jedoch einige Megohm betragen. Je kleiner die Eingangskapazität ist, um so weniger besteht die Gefahr von Verzerrungen der Meßspannung.

Wir wenden uns nun den Anforderungen an den Kippteil eines Fernseh-Oszillografen zu. Die Kippfrequenz sollte etwa von 10 Hz bis 500 kHz reichen, wenn man alle nur denkbaren fernsehtechnischen Vorgänge erfassen will. Begnügt man sich mit der oszillografischen Untersuchung einfacher Impulsreihen, so genügt als höchste Ablenkfrequenz schon ein Wert von etwa 20 kHz. Daß die Kippspannung möglichst linear sein muß, ist selbstverständlich. Wichtig ist auch eine wirklich einwandfrei arbeitende Synchronisierung, um möglichst ruhige Bilder zu erhalten. In diesem Zusammenhang ergibt sich nicht nur bei der Untersuchung von Fernsehsignalen, sondern auch allgemein von kurzzeitigen Impulsen mit großem Tastverhältnis eine neue Forderung, die wir ihrer Bedeutung halber etwas ausführlicher besprechen müssen.

Bei der Vertikalablenkung treten Impulse auf, die verschiedentlich nur

[19c]) Näheres siehe Macek, Die Bedeutung der Frequenzkennlinie und Anstiegszeit bei modernen Breitbandoszillografen, radio-mentor 1952, H. 11, S. 541, ferner Macek, Die Bedeutung der Signal-Laufzeit im Verstärker bei modernen Breitbandoszillografen, radio-mentor, 1952, H. 12, S. 596.

eine Zeit von etwa 5 % der gesamten Impulsperiode umfassen. Auch bei der Untersuchung sonstiger impulsartiger Vorgänge mit niedriger Grundfrequenz kommt es häufig vor, daß sich bestimmte, aber gerade interessante Vorgänge auf ganz kleine Bruchteile der Impulsperiode zusammendrängen. Mit normalen Ablenkschaltungen können Einzelheiten dieser Vorgänge nicht mehr erkannt werden. Deshalb muß der Kippteil eines guten Fernseh- bzw. Impulsoszillografen über eine Einrichtung zur „Zeitdehnung" verfügen. Eine solche Zeitdehnung muß in der Lage sein, das interessierende Kurvenstück auf dem Schirm der Oszillografenröhre in Richtung der Zeitachse so auseinanderzuziehen, daß die sonst versteckten Einzelheiten mühelos erkannt werden können.

Hierfür gibt es verschiedene Möglichkeiten. Am einfachsten ist es, wenn man mit Hilfe geeigneter Phasenschieber den interessanten Kurvenausschnitt in den (natürlich nicht ausgeblendeten) Rücklauf der Kippschwingung verlegt. Bei einer prozentualen Rücklaufdauer von 10 % erhält man dann beispielsweise eine zehnfache Zeitdehnung, was bereits in vielen Fällen genügt. Weiterhin kann man die Kippfrequenz um ein Vielfaches höher als die Grundfrequenz des Meßvorganges selbst wählen. Das führt jedoch zu mehrfach überschriebenen Schirmbildern, also zu störenden Linien, die das Auffinden der gedehnten Stelle außerordentlich erschweren. Das Oszillogramm wird recht unübersichtlich. Diese primitiven Methoden scheiden also gewöhnlich aus.

Ein weiteres Verfahren besteht in der Anwendung einer so großen Kippspannung, daß die Ablenkung gewissermaßen weit über den Schirm hinausgeht, daß also der Schirm nur von einem Bruchteil der Zeitbasis bedeckt wird. Mit Hilfe geeigneter Phasenschieber muß man nun das zu untersuchende interessierende Kurvenstück möglichst genau in die Mitte des Leuchtschirmes zu schieben versuchen. Mit dieser Methode erhält man bereits recht brauchbare Ergebnisse, vor allem dann, wenn man die Zeitdehnung nur für eine bestimmte Frequenz, z. B. für 50 Hz, vorsieht. Der Maximalwert der Zeitdehnung hängt praktisch nur von der zulässigen Höchstspannung zwischen den Zeitplatten ab [19d]).

Einen ganz anderen Weg beschritt man mit der dritten Methode. Ihr liegt der Gedanke zugrunde, daß das Ablenkgerät nicht selbständig kippt und dabei von der zu untersuchenden Spannung nur synchronisiert wird, sondern daß erst der zu untersuchende Vorgang zu einer Auslösung des Kippvorganges führt. Man erreicht dadurch einerseits, daß die Kippfrequenz genau der Folgefrequenz des zu untersuchenden Vorgangs entspricht, denn das Kippgerät wird ja unselbständig von der Meßfrequenz gesteuert. Über-

[19d]) Näheres hierüber siehe Czech, Mikroskop-Zeitbasis-Gerät, Funk-Technik 1953, H. 3, S. 79, und H. 4, S. 111. Siehe ferner Czech, Untersuchung der Arbeitsweise eines Fernsehempfängers mit Elektronenstrahloszillografen, Funk-Technik 1953, H. 11, S. 335, und H. 12, S. 367.

schneidungen und unklare Kurvenbilder sind daher überhaupt nicht möglich. Anderseits jedoch kann man nach diesem Verfahren die Hinlaufgeschwindigkeit nahezu beliebig variieren, so daß man den zu untersuchenden Vorgang auf dem Leuchtschirm ebenso beliebig dehnen kann. Ist der Vorgang abgelaufen, so kehrt das Kippgerät wieder in seine Ruhestellung zurück und „wartet" solange, bis es vom nächsten Impuls ausgelöst wird. Die durch die Meßfrequenz bestimmte Kipperiode setzt sich also aus dem Rücklauf, dem beliebig schnellen Hinlauf und der Wartezeit zusammen. Die Summe aller drei Komponenten entspricht der Grund-Periodendauer des gesamten Meßvorgangs. Man spricht von „Triggern".

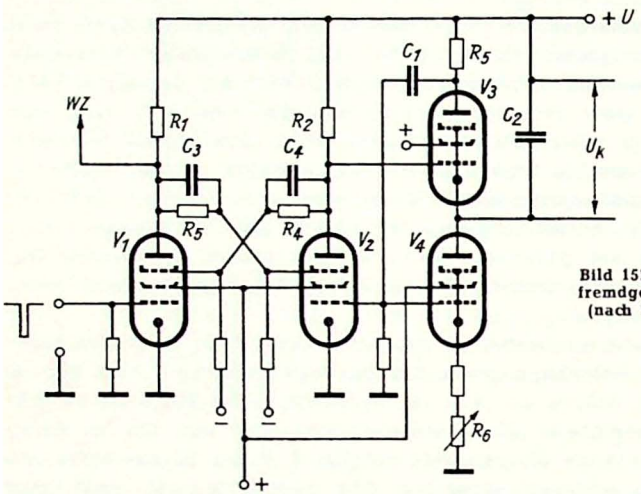


Bild 151 a: Schaltung für ein fremdgesteuertes Kippgerät (nach Siemens-Unterlagen)

In Bild 151 a sehen wir eine Schaltung [19e]) zur Verwirklichung dieses Gedankens. Der Kippkondensator C_2 wird über eine Pentode V_4 von der Spannung U zeitlinear geladen. Die Entladung des Kippkondensators erfolgt über die Entladeröhre V_3. Das Gitter von V_3 wird von einer aus den Röhren V_1 und V_2 bestehenden Anordnung gesteuert, die an sich schon seit 1919 aus Arbeiten von Eccles und Jordan in Form des sogenannten Kallirotrons bekannt ist, jedoch heute erst größere Bedeutung erlangt hat. Sie führt jetzt den Namen „Flip-und-Flop-Schaltung"[19f]) und ist dadurch gekennzeichnet, daß sie zwei stabile Betriebszustände einnehmen kann. Im wesentlichen handelt es sich um einen gleichstromgekoppelten Multivibrator mit

[19e]) Siehe Ferroni, Neuerungen auf dem Gebiet der Elektronenstrahl-Oszillographen, Siemens-Zeitschrift 25, 1951, H. 5, S. 233. Die Schaltung ist nur in ihrer Wirkungsweise angedeutet.

[19f]) Siehe z. B. Kerkhof-Werner, Fernsehen, 1951, Eindhoven, Philips, Seite 122.

den Koppelwiderständen R_3 und R_4. Für die Kopplung werden die Bremsgitter der Röhren herangezogen, während den Steuergittern Hilfsimpulse zugeführt werden.

Wir gehen davon aus, daß V_2 verriegelt, V_1 dagegen entriegelt ist. Dann ist das Potential an der Anode von V_2 stark positiv, demnach auch das Potential des Gitters von V_3. Infolgedessen wird der Kippkondensator C_2 dauernd entladen bleiben, weil der Aufladestrom von V_4 über den sehr kleinen Innenwiderstand von V_3 fließt. Der Zustand ist absolut stabil und entspricht der vorhin erwähnten „Wartezeit" des Kippgerätes.

Gibt man nun auf das Steuergitter von V_1 einen negativen Spannungsstoß, der durch einen Kontakt, aber auch durch den impulsförmigen Meßvorgang selbst ausgelöst werden kann, so wird V_1 kurzzeitig verriegelt. Das bedeutet ein impulsförmiges Anwachsen des Anodenpotentials dieser Röhre. Der Stoß überträgt sich auf das Bremsgitter von V_2, so daß diese Röhre plötzlich Anodenstrom führt. Infolgedessen sinkt das Anodenpotential dieser Röhre, und das Bremsgitter von V_1 erhält einen negativen Spannungsstoß, der zur endgültigen Verriegelung von V_1 führt. Der Zustand ist stabil, weil

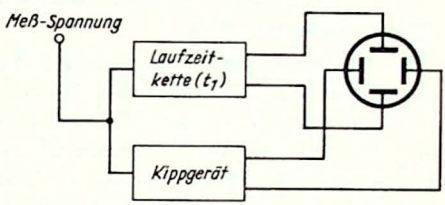


Bild 151 b: Laufzeitkette zur Verzögerung des zu messenden Signals

Gleichstromkopplung vorliegt. Nunmehr ist das Anodenpotential von V_2 wesentlich kleiner als vorher, so daß auch die Röhre V_3 verriegelt wird. Infolgedessen kann sich nunmehr der Kippkondensator C_2 über V_4 aufladen. Die Anstiegsgeschwindigkeit der Spannung an C_2 hängt dabei außer von C_2 selbst vom Ladestrom der Röhre V_4 ab, den man mit Hilfe von R_6 innerhalb gewisser Grenzen einstellen kann. Man hat es also durch Wahl dieser beiden Werte in der Hand, die Aufladegeschwindigkeit von C_2 und damit die Hinlaufgeschwindigkeit der Kippspannung weitgehend zu beeinflussen.

Nun spielt sich folgender Vorgang ab: Hat die Spannung an C_2 einen bestimmten Mindestwert überschritten, so wird die Röhre V_3, deren Gittervorspannung zunächst konstant ist, Anodenstrom zu führen beginnen. Infolgedessen sinkt das Anodenpotential dieser Röhre wegen des an R_5 auftretenden Spannungsabfalles ab, so daß nunmehr ein negativer Impuls über den Kondensator C_1 auf das Steuergitter von V_2 trifft. Dadurch kippt in der vorhin geschilderten Weise das Flip-und-Flop-System in den ursprünglichen, ebenfalls stabilen Zustand zurück, der solange dauert, bis ein neuer negativer Impuls auf das Steuergitter von V_1 trifft. Dann beginnt der Vorgang

von neuem. Wir sehen, daß die Anordnung nur arbeiten kann, wenn von außen ein Steuerimpuls angelegt wird. Die Folgefrequenz richtet sich ganz nach der Folgefrequenz der Steuerspannung Selbstverständlich kann ein derartiges Kippgerät auch zur Auslösung einmaliger Vorgänge herangezogen werden. Die weiter oben besprochene Zeitdehnung erfolgt grob durch Umschalten von C_2, während eine Feinregelung mit Hilfe von R_6 möglich ist.

Die parallel zu R_3 und R_4 liegenden Kondensatoren C_3 und C_4 haben nur den Zweck, unerwünschte Impulsverzerrungen zu beseitigen [19g]). Weiterhin ist noch zu erwähnen, daß der Katodenstrahl während der „Wartezeit" des Kippgerätes dunkel gesteuert werden muß, um störende Überstrahlungen durch den Leuchtfleck, vor allem aber ein Einbrennen des Schirmes zu vermeiden. Aus Bild 151 a ergibt sich, daß man von der Anode von V_1 eine geeignete Steuerspannung für den Wehneltzylinder abgreifen kann, die diesen während der Ruhelage des Strahls negativ vorspannt. Bei Einsetzen der Ablenkung fällt diese Spannung fort, so daß der Strahl freigegeben wird.

Eine etwas andere, „Zeitbasis-Mikroskop" genannte Anordnung wurde von Philips angegeben [19h]).

In der vorstehend beschriebenen Form hat die Schaltung noch einen kleinen Nachteil. Zwischen dem Eintreffen des Impulses und der Auslösung des Kippvorganges vergeht nämlich eine zwar sehr kleine, aber doch merkliche Zeit. Würde man daher den zu untersuchenden Vorgang ohne weitere Maßnahmen den Meßplatten des Oszillografen zuführen, so würde der Anfangsteil nicht mehr auf dem Leuchtschirm sichtbar sein. Deshalb schaltet man zweckmäßigerweise nach Bild 151 b zwischen die Meßspannung und die Vertikalablenkung eine Laufzeitkette, die den Meßimpuls etwas verspätet auf die Meßplatten gelangen läßt. Die Verzögerung muß etwa demjenigen Zeitraum entsprechen, den das Kippgerät zum Ansprechen benötigt. Die Laufzeitkette selbst kann aus geeignet bemessenen LC-Gliedern, aber auch aus einem besonderen Laufzeitkabel bestehen, das von einem deutschen Spezialkabel-Werk geliefert werden kann. Er besitzt einen Wellenwiderstand von 950 Ohm und verursacht je Meter Länge eine Verzögerung von 0,14 µsec.

Es gibt noch weitere Schaltungen zur Zeitdehnung bzw. Triggerung. Wir verweisen auch auf den Selbstbauabschnitt des 4. Kapitels, wo eine leistungsfähige, zum Nachbau geeignete Anordnung ausführlich beschrieben ist.

Ein Fernseh-Spezialoszillograf muß schließlich noch über eine Einrichtung verfügen, die die zahlenmäßige Bestimmung von Impulsspitzenspannungen erlaubt. Hierfür gibt es verschiedene Methoden. Man kann z. B. in den

---

[19g]) Reference Dala for Radio-Engineers, 1949, New York, 3. Aufl., S. 337.

[19h]) Hintzbergen, Der Oszillograph und seine Anwendungen. Philips-Druckschrift.

Oszillografen ein Wechselspannungsinstrument einbauen, das die Spannung einer von Hand einstellbaren Wechselstromquelle mißt. Die Kurve dieser Spannung wird mitoszillografiert und ihre Amplitude wird so eingestellt, daß sie der Amplitude des zu messenden Impulses entspricht. Der Spannungswert läßt sich dann am Instrument ablesen. Besonders universelle Fernseh-Oszillografen verfügen außerdem über Eichmarken, mit denen eine Eichung der Zeitachse durchgeführt werden kann. Zu diesem Zweck stößt man z. B. kleine, in ihren Daten genau bekannte Schwingkreise an, deren Amplituden längs der Zeitachse mitoszillografiert werden können. Auf diese Weise lassen sich auch Impulsdauern sehr genau bestimmen.

Abschließend sei erwähnt, daß bei zeitgedehnten Oszillogrammen die Helligkeit des Schirmbildes stark zurückgeht. Deshalb ist die Verwendung von Röhren mit Nachbeschleunigung (siehe S. 154) recht empfehlenswert.

Die vorstehenden Zeilen sollen dem Praktiker nur in großen Zügen andeuten, welche Möglichkeiten der Oszillograf auch in der Fernsehtechnik bietet und welchen besonderen Anforderungen er dabei genügen muß.

2. Dezimeter- und Zentimeterwellentechnik

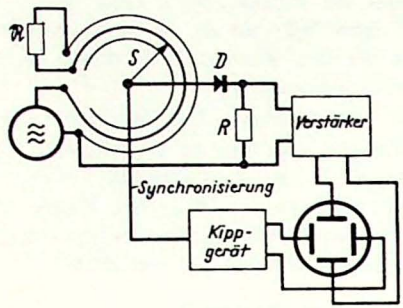
Die unmittelbare Auflösung von Dezimeter- und Zentimeterwellen ist nur mit Spezialröhren möglich, die nur in Spezialfällen verfügbar sind. Dagegen kann man wenigstens eine wenn auch unvollkommene Strahlablenkung mit gewöhnlichen Oszillografenröhren zustandebringen, indem man die Ablenkplatten als Enden eines Lechersystems ausbildet; dann liegt an den Platten ein Spannungsbauch, so daß man wenigstens die Hüllkurve der modulierten Ultrahochfrequenz beobachten und untersuchen kann. Voraussetzung ist allerdings, daß die Zuführungen zu den Platten nicht durch den Röhrenfuß laufen, sondern unmittelbar durch die seitlichen Glaswände stoßen.

Bei der Abtastung stehender Wellen längs Leitungen dagegen, die in der Dezi- und Zentimeterwellen-Meßtechnik seit vielen Jahren eine große praktische Bedeutung hat[20]), kann der Oszillograf nutzbringend verwendet werden. In Bild 152 ist das Prinzip dargestellt. Eine konzentrische, kreisförmig gebogene Meßleitung liegt auf der einen Seite an der Spannung eines Meßsenders für Ultrahochfrequenz. An der anderen Seite liegt die zu messende Impedanz $\mathfrak{R}$. Blind- und Wirkkomponente von $\mathfrak{R}$ bestimmen die örtliche Lage der durch die teilweise Reflexion der hinlaufenden Welle hervorgerufenen Spannungsminima und -maxima, ferner das Amplitudenverhältnis zwischen beiden Werten. Bei gewöhnlichen Meßleitungen muß man nun durch eine Einzelmessung beide Werte bestimmen und daraus die

[20]) Diese auf Arbeiten von O. Schmidt zurückgehende Methode gestattet das Bestimmen von Schein- und Wirkwiderständen aller Art im Dezimeterwellengebiet und beruht auf der Ermittlung der örtlichen Lage der Spannungsbäuche, sowie auf der Festlegung der Spannungsunterschiede zwischen Bauch und Knoten. Beide Werte liefern Unterlagen für die Berechnung der Blind- und Wirkkomponente der betreffenden Impedanz. Das Verfahren wurde während des Krieges zu großer Vollkommenheit entwickelt.

Größe von $\mathfrak{R}$ berechnen. Als Abtastorgan dient dabei eine Sonde, die durch einen Schlitz mit dem Innenleiter der Meßleitung schwach gekoppelt ist.

Läßt man den Abtaststift S der Sonde mit gleichmäßiger und genügend großer Geschwindigkeit über den Umfang der kreisförmigen Meßleitung nach Bild 152 hinwegrotieren und führt die mit dem Detektor D gleichgerichtete und an R auftretende Spannung einem Verstärker mit genügend



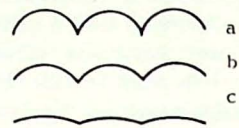


Bild 153: Leuchtschirmbilder zu der Schaltung nach Bild 152

Links Bild 152: Schaltung zur Darstellung des Spannungsverlaufs auf einer Meßleitung für Dezimeter- und Zentimeterwellen

tiefer Grenzfrequenz zu, so entsteht auf dem Leuchtschirm der Katodenstrahlröhre, deren Vertikalplatten am Verstärkerausgang liegen, ein Oszillogramm, dessen Längsausdehnung durch den Spannungsverlauf an der Meßleitung bestimmt wird. Zur horizontalen Ablenkung dient ein Kippgerät, das mit der Geschwindigkeit des antreibenden Motors synchronisiert ist. Die auf dem Schirm sichtbaren Kurven können meßtechnisch ausgewertet werden. In Bild 153 ist der ungefähre Verlauf der Leuchtschirmbilder dargestellt. Figur a zeigt die Kurve, wie sie eine Impedanz mit relativ kleiner Wirkkomponente liefert. In Figur b hat die Blindkomponente einen anderen Wert, während in Figur c relativ gute Anpassung des Wirkanteils an den Wellenwiderstand der Meßleitung gegeben ist.

Nicht nur für quantitative, sondern auch für qualitative Zwecke ist dies Verfahren gut geeignet. So kommt es z. B. in der Praxis oft darauf an, die zu messende Impedanz, die etwa aus einer Antenne bestehen kann, möglichst reflexionsfrei anzupassen, damit ein Höchstmaß an Nutzleistung übertragen wird. Man kann dann unmittelbar durch Verfolgen des Leuchtschirmbildes erkennen, welche Maßnahmen an der Impedanz eine Abflachung der Kurve, d. h. eine Verkleinerung der Reflexion, zur Folge haben. Beispielsweise läßt sich eine Dezimeterwellenantenne sehr schnell abstimmen, wenn man zwischen Sender und Antenne eine rotierende Meßleitung nach Bild 152 schaltet und den Strahler so lange verlängert oder verkürzt, bis die Kurvenschwankungen ein Minimum geworden sind. Dann hat man ein Mindestmaß an Reflexion, also beste Anpassung, erreicht. Mit dem gewöhnlichen Verfahren ist nach jeder Änderung an der Antenne dagegen eine neue Verschiebung der Meßsonde von Hand erfor-

derlich, so daß man nicht nur wesentlich mehr Zeit braucht, sondern auch das wirkliche Minimum an Welligkeit schwerer findet.

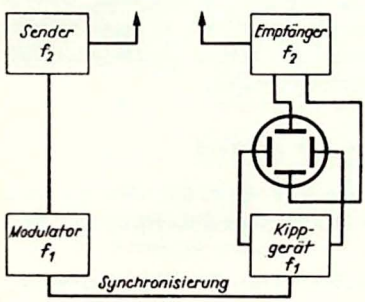
3. Tonfilmtechnik

Die Katodenstrahlröhre hat als steuerbare Lichtquelle in der Tonfilmtechnik nur noch untergeordnete Bedeutung. Dagegen ist der Katodenstrahloszillograf wichtig zur Untersuchung der Tonfilmverstärker auf Verzerrungsfreiheit, Aussteuerbarkeit und sonstige Eigenschaften. Hier können alle bereits in früheren Abschnitten beschriebenen Verfahren angewendet werden. Dasselbe gilt auch für die Fotozellen selbst, die gelegentlich einer Nachprüfung und Untersuchung bedürfen.

Besonders bedeutungsvoll ist der Katodenstrahloszillograf bei der Erprobung neuer Abtast- und Wiedergabeverfahren. Mit Leichtigkeit können Trägheitserscheinungen in den elektrooptischen Umwandlerorganen ermittelt werden, selbstverständlich auch Verzerrungen usw.

4. Bestimmung kurzer Zeiten

Die Messung kurzer Zeiten ist in vielen Fällen von großer Bedeutung. Als Beispiele seien genannt: Messung der Ionosphärenhöhe, Geschoßgeschwindigkeiten, Ortung mit Laufzeitverfahren, Verstärkerlaufzeiten, Fernsehimpulsmessungen, Kamera-Verschlußzeitmessungen usw.



Links Bild 154: Anordnung zur Messung kurzer Zeiten

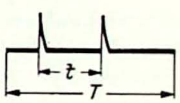


Bild 155: Schirmbild zur Schaltung Bild 154

Die Bestimmung kurzer Zeitdifferenzen mit dem Katodenstrahloszillografen erfolgt fast ausschließlich durch die Messung des zeitlichen Abstands zwischen zwei kurz aufeinanderfolgenden Signalen. In Bild 154 ist die erforderliche Schaltung schematisch dargestellt. Ein Generator mit der Frequenz $f_1 = 1/T_1$ steuert einen Impulssender mit der Frequenz f_2, so daß hochfrequente impulsförmige Wellenzüge entstehen. Diese treffen nach einer gewissen Laufzeit einen Empfänger, der die Impulse in vertikaler Richtung auf dem Leuchtschirm aufzeichnet. Zur Zeitablenkung dient ein

Kippgerät, dessen Frequenz mit der Frequenz f_1 synchronisiert ist. Außerdem wird dafür gesorgt, daß der ausgesandte Impuls den Empfänger ohne Laufzeitverzögerung trifft. Infolgedessen entsteht auf dem Leuchtschirm ein Oszillogramm nach Bild 155. Der erste Impuls entspricht dem direkten, der zweite dem nach einer gewissen Laufzeit eintreffenden Signal. Es kann z. B. zuerst zu einem entfernten Gegenstand laufen, dort reflektiert werden und dann erst zum Empfänger gelangen. Diese Laufzeit t in Bild 155 läßt sich genau bestimmen, weil T bekannt und der Zeitmaßstab linear ist. Die moderne Technik kann heute ohne weiteres Impulse mit einer zeitlichen Dauer von 10^{-8} sec herstellen, so daß die Messung von Zeiten bis zu diesem Wert herunter keinerlei Schwierigkeiten bereitet.

Die Anordnung nach Bild 154 kann in mannigfacher Form variiert werden. So kann man an Stelle der elektrischen auch akustische Impulsgeber einführen und die Laufzeit von Schallwellen messen. Geschoßgeschwindigkeiten werden z. B. optisch-elektrisch bestimmt, indem man auf zwei in genau bekanntem gegenseitigen Abstand befindliche Fotozellen einen Lichtstrahl fallen läßt. Fliegt nun das Geschoß zwischen der Lichtquelle und den Fotozellen hindurch, so erleidet zunächst die eine, dann die andere Zelle eine kurzzeitige Fotostromschwankung, weil das Licht für kurze Zeit unterbrochen wird. Die zeitlich gegeneinander verschobenen Lichtimpulse werden in Spannungsimpulse umgesetzt, verstärkt und auf dem Leuchtschirm sichtbar gemacht. Aus der Zeitdifferenz kann dann die Geschoßgeschwindigkeit ermittelt werden.

Zur Ablesung der kurzen Zeiten ist ein kreisförmiger Maßstab, wie er mit den auf Seite 83 beschriebenen Polarkoordinatenröhren erzeugt werden kann, besonders brauchbar. Im übrigen können die schon verschiedentlich beschriebenen Verfahren sinngemäß Anwendung finden.

5. Der Oszillograf im industriellen Prüffeld

Nicht nur im radiotechnischen Prüffeld, sondern auch bei der Fabrikation ganz anderer Gegenstände kann der Katodenstrahloszillograf nutzbringend verwendet werden.

Bei der Herstellung radiotechnischer Geräte dient der Oszillograf zur serienmäßigen Prüfung und zum Abgleich von Drehkondensatoren, Potentiometern, Zwischenfrequenzkreisen usw.[21]). Die zugehörigen Verfahren wurden bereits früher kurz angedeutet. Die Arbeitszeitersparnis ist gewaltig, wenn gut ausgedachte und sinnfällige Prüfverfahren angewendet werden, die von angelernten Prüfern und Prüferinnen durchgeführt werden können. Insbesondere die Sichtbarmachung von Frequenz- und Resonanzkurven spielt hier eine große Rolle. Aber auch für eine Überwachung sonstiger Erschei-

[21]) Näheres hierüber siehe Limann, Prüffeld-Meßtechnik, München, Franzis-Verlag.

nungen, die z. B. bei der serienmäßigen Abgleichung kompletter Geräte auftreten, ist der Katodenstrahloszillograf bestens geeignet.

Für fabrikatorische Zwecke, die der Radiotechnik ferner stehen, sei die automatische Zählung von kleinen Teilen erwähnt [214]).

6. Drahtlose Navigation

Die drahtlose Navigation ist ein Gebiet, das im zweiten Weltkrieg besonders intensiv bearbeitet wurde. Sie bildet ein typisches Beispiel für den Mißbrauch der modernen Technik für kriegerische Zwecke. Der Katodenstrahloszillograf spielt hier insbesondere bei all den Verfahren, die auf Laufzeitmessungen und Laufzeitvergleichen beruhen, eine hervorragende Rolle. Die bekannten Entfernungsmeß- und Ortungsverfahren sind typische Beispiele hierfür. Es handelt sich dabei entweder um die Bestimmung von Entfernungen nach dem Impulsprinzip (Bild 154) oder aber um das Konstanthalten des zeitlichen Abstandes zwischen zwei Impulsen. Im ersten Fall dient die Katodenstrahlröhre vorzugsweise als unmittelbares Meßgerät. Die Einrichtungen zur Bestimmung des Abstandes zwischen einem Schiff oder Flugzeug und dem Erdboden (in Form des Höhenmessers bei Flugzeugen oder des Entfernungsmessers vom Boden aus) enthalten z. B. Katodenstrahlröhren, die direkt in m oder km Entfernung bzw. Höhe geeicht sind.

Im zweiten Fall hat die Katodenstrahlröhre die Aufgabe, die konstante Entfernung oder Amplitude zweier oder mehrerer Impulse zu überwachen oder einzustellen. Darauf beruhen viele Ortungsverfahren. So kann man z. B. zwei im bestimmten Abstand stehende Antennen verwenden, von denen jede den reflektierten Impuls eines zu ortenden Gegenstandes aufnimmt. Sind die Entfernungen zwischen dem Gegenstand und den Antennen gleich groß, so besteht keine Zeitdifferenz zwischen beiden Impulsen, was man z. B. auf dem Leuchtschirm dadurch zum Ausdruck bringen kann, daß sich die Impulse decken. Das Objekt befindet sich dann genau in der Mitte zwischen den beiden Antennen. In ähnlicher Weise kann man auch mit Hilfe von Amplitudenvergleichen Ortungsverfahren durchführen. Es sind die verschiedensten Methoden ersonnen worden.

Auch die Peilung wird durch den Katodenstrahloszillografen sehr erleichtert. Fallen z. B. am Empfangsort Boden- und Raumwellen des zu peilenden Senders gleichzeitig ein, so kann man sich auf die Peilung nicht verlassen und man erhält ein unscharfes Minimum. Löst man dagegen mit dem Katodenstrahloszillografen Boden- und Raumwellenimpuls zeitlich auf, was wegen der Zeitdifferenz zwischen beiden leicht gelingt, so kann man lediglich nach der Bodenwelle peilen, die — innerhalb gewisser Grenzen — ein scharfes Minimum und einwandfreie Peilwerte liefert.

---

[214]) Siehe z. B. Richter, Praxis der Elektronik, Bd. I und II, Stuttgart, Franckh'sche Verlagshandlung.

Schließlich sei noch auf die Sichtgeräte zur groben Abbildung einer Landschaft verwiesen, bei denen ein scharf gebündelter Zentimeterwellenstrahl den Boden unter einem Flugzeug oder die Landschaft vor einem Schiff ganz ähnlich wie beim Fernsehen rasterförmig oder nach einer anderen geometrischen Figur abtastet. Die Rückstrahlimpulse werden auf den Schirm einer Bildröhre gegeben, deren Strahl im gleichen Rhythmus abgelenkt wird. Auf diese Weise entsteht ein — wenn auch vorerst noch grobes — Rückstrahlbild der abgetasteten Landschaft. Das Verfahren wurde im 2. Weltkrieg erstmals praktisch angewendet und hat heute auch im zivilen Sektor (Schiffsradar, Hafenradar usw.) große Bedeutung als Kollisionsprophylaxe.

7. Sonstige Anwendungen

Die sonstigen Anwendungen des Katodenstrahloszillografen sind so zahlreich, daß wir hier nur einige andeuten wollen.

Die Bestimmung der Schaltzeiten von Relais ist eine in der Fernmelde-, Stark- und Schwachstromtechnik immer wiederkehrende Untersuchung. Dabei interessiert die Zeit, die vom Einschalten des Relaisstromes bis zum Ein-, Aus- oder Umschalten des betreffenden Relaiskontaktes vergeht. Man kann in der Weise vorgehen, daß man das Relais periodisch betätigt und mit dieser Frequenz ein Kippgerät synchronisiert, das zur Zeitablenkung dient. Die Kontakte schalten eine Wechselspannung ebenso periodisch an die Vertikalplatten. Wird sofort nach Beendigung des Rücklaufs der Relaisstromkreis geschlossen, so ist der dem Leuchtschirmbild zu entnehmende zeitliche Abstand vom Beginn des Leuchtstrichs bis zum Erscheinen der Vertikalablenkung ein Maß für die Schaltzeit des Relais. Die Meßanordnung läßt sich natürlich in beliebiger Form variieren.

Die Katodenstrahlröhre als Abstimmanzeiger in Radioempfängern ist jedem Rundfunkteilnehmer wohl bekannt. Sie wird dort in einer Sonderkonstruktion (Magisches Auge, magischer Strich, magischer Fächer) verwendet, um dem Rundfunkhörer die richtige Abstimmung seines Gerätes anzuzeigen.

Auch für stroboskopische Verfahren hat der Katodenstrahloszillograf eine gewisse Bedeutung, z. B. zur Messung der Drehzahl von Motoren oder sonstigen rotierenden Einrichtungen. Man moduliert zu diesem Zweck den Katodenstrahl mit einer impulsförmigen Helligkeitssteuerspannung und erhält auf diese Weise Lichtblitze, deren Dauer im wesentlichen nur von den elektrischen Daten des Impulsgebers und der Nachleuchtzeit des Schirmes abhängt. Beleuchtet man mit diesen Lichtblitzen den rotierenden Körper und macht man die Impulsfrequenz regelbar, so scheint bei einer bestimmten Frequenz der Körper stillzustehen. Diese Frequenz entspricht der Rotationsgeschwindigkeit des betrachteten Gegenstandes. Man kann daher den Impulsgeber unmittelbar in Geschwindigkeitswerten eichen. Natürlich lassen sich solche stroboskopischen Messungen auch mit Glimmlampen aus-

führen; die Katodenstrahlröhre besitzt jedoch eine wesentlich kleinere Trägheit, was sich besonders bei größeren Geschwindigkeiten vorteilhaft bemerkbar macht.

In der Elektromedizin hat der Katodenstrahloszillograf insbesondere beim Bau von Elektrokardiografen eine gewisse Bedeutung erlangt. Er eignet sich zur Niederschrift von Herzaktionskurven, wobei stark nachleuchtende Röhren wegen der kleinen Herzfrequenz verwendet werden müssen. Auch andere rhythmische Vorgänge im menschlichen Körper können bei Verwendung entsprechender Energieumformer oszillografiert werden. In letzter Zeit ist besonders die Untersuchung von Hirnaktionsströmen bedeutungsvoll geworden.

Eine interessante Anwendung des Katodenstrahloszillografen ist die Kontrolle des genauen Ganges von Uhren[22]). Die erforderliche Schaltung ist in Bild 156 dargestellt. Das Ticken der Uhr, dessen Regelmäßigkeit ein Maß für die Genauigkeit des Gangwerks ist, wird von einem Mikrofon aufge-

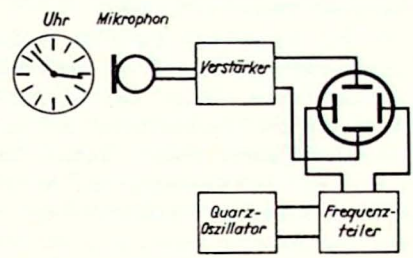


Bild 156: Schaltung zur Kontrolle des Gangs von Uhren

nommen, zu scharfen Impulsen mit Hilfe eines Thyratrons umgeformt, verstärkt und auf die Vertikalplatten der Katodenstrahlröhre gegeben. Ein Quarzoszillator hoher Genauigkeit (10^{-6}) liefert eine relativ große Frequenz, die in sechs Frequenzteilerstufen auf 60 Hz herabgesetzt wird. Mit dieser Spannung wird ein Kippgerät synchronisiert, das die Horizontalplatten steuert. Stimmt die Tickfrequenz mit der Vergleichsfrequenz genau überein, so erscheint der Tickimpuls auf dem Leuchtschirm stets an derselben Stelle. Schon geringfügige Abweichungen machen sich dagegen durch ein langsames Wandern des Impulses über den Leuchtschirm bemerkbar. Die Schnelligkeit dieses Wanderns ist ein Maß für die Ungenauigkeit der Uhr. Die mit diesem Verfahren erreichbare Genauigkeit ist sehr groß. Geht die Uhr z. B. um 5 Sekunden am Tag falsch, so läuft das Signal innerhalb von 5 Minuten einmal über den ganzen Leuchtschirm hinweg. Während die Feststellung dieser relativ kleinen Ungenauigkeit mit normalen Mitteln Tage beansprucht, ist sie mit dem Katodenstrahloszillografen in wenigen Minuten durchführbar.

[22]) van Suchtelen, Philips Technisch Tijdschrift 10, Oktober 1947, S. 316.

Auf die zahlreichen Anwendungen, die der Oszillograf in der Maschinenbautechnik finden kann, wurde schon verschiedentlich hingewiesen. Mit Hilfe von Meßumformern gelingt es, mechanische Schwingungen und Bewegungen in Spannungsimpulse zu verwandeln, die dann entsprechend verstärkt und oszillografiert werden können. Auch in der Bautechnik, z. B. zur Untersuchung der Eigenresonanz von Mauern und sonstigen Bauteilen, ist der Katodenstrahloszillograf am Platze. In der Chemie ist es möglich, die Explosionsvorgänge von Sprengstoffen mit dem Oszillografen zu erfassen, wodurch Rückschlüsse auf die chemische Beschaffenheit möglich werden. Gewisse chemische Reaktionen lassen sich in ihrem zeitlichen Verlauf elektrisch umformen und oszillografieren.

In der Geologie — besonders dem Spezialgebiet der Funkgeologie — kann man den Katodenstrahloszillografen nutzbringend verwenden, z. B. zur Feststellung von Hohlräumen, Erzlagern und dergleichen nach dem Laufzeitverfahren. Dadurch lassen sich auch Rückschlüsse auf die Art der betreffenden Gesteinsmassen ziehen.

In der Astronomie dient der Katodenstrahloszillograf zur Geschwindigkeitsbestimmung schnell verlaufender Vorgänge, z. B. von Sternschnuppen, Meteoren usw. unter Zuhilfenahme lichtelektrischer Umwandlerorgane. Auch für die Untersuchung der spektralen Verteilung des Sternenlichts kann er nützliche Dienste leisten. Besondere Bedeutung kommt dem astronomischen Anwendungsgebiet im Hinblick auf die erfolgreichen Rückstrahlversuche mit Himmelskörpern, z. B. dem Mond, zu. Auch Sternschnuppen und Meteore lassen sich auf diesem Wege erfassen; der Verlauf des Vorgangs kann oszillografisch genau festgelegt werden. Nicht unerwähnt soll die wertvolle Hilfe bleiben, die der Katodenstrahloszillograf bei der Untersuchung des kosmischen Rauschens (Emission der Sonne, der Milchstraße und anderer Weltraumkörper in astronomischen Entfernungen) zu leisten vermag. Die Analyse des Frequenzspektrums gelingt mit dem Katodenstrahloszillografen besonders gut.

Auch meteorologische Anwendungen hat die Oszillografenröhre bereits gefunden, z. B. bei der Richtungsbestimmung von Gewittern, zur Registrierung von Erdbeben, luftelektrischen Erscheinungen usw.

Daß der Katodenstrahloszillograf schließlich ein vorzügliches Hilfsmittel im wissenschaftlichen Unterricht darstellt, braucht kaum hervorgehoben zu werden. Es gibt wohl nicht so leicht ein Instrument, das dem Unterrichtenden die Darstellung komplizierter Naturvorgänge so erleichtert, wie der Oszillograf mit Katodenstrahlröhre.

Viertes Kapitel

Schaltungstechnik moderner Industrie- und Selbstbauoszillografen

Im Gegensatz zu den ersten beiden Auflagen dieses Buches sehen wir von einer Besprechung der einzelnen Oszillografentypen der deutschen Industrie ab. Die außerordentlich schnelle Entwicklung auf diesem Gebiet bringt es mit sich, daß schon nach relativ kurzer Zeit Änderungen oder Verbesserungen an den Geräten vorgenommen werden, was natürlich auch mit einer Abweichung der Daten bzw. der Schaltungstechnik verknüpft ist. Dem Leser dürfte daher mit einer allgemein gültigen Darstellung des heutigen Standes der einschlägigen Schaltungstechnik besser gedient sein. So haben sich in allen Oszillografenstufen im Verlauf der letzten Jahre gewisse Standardmerkmale durchgesetzt, die man bei den Erzeugnissen der verschiedensten Firmen immer wieder antrifft und die im I. Abschnitt dieses Kapitels anhand einiger weniger Beispiele besprochen werden sollen. Wir können uns relativ kurz fassen, weil viele dieser Probleme schon im ersten Kapitel des Buches erörtert sind, so daß die folgenden Ausführungen hauptsächlich eine Ergänzung zu diesem darstellen. Es ist also vorteilhaft, wenn der Leser beim Studium der folgenden Ausführungen auch die Darlegungen am Anfang des Buches mit heranzieht.

Im II. Abschnitt werden die wichtigsten Oszillografenröhren zusammengestellt, wobei wir die älteren Typen auch in dieser Auflage absichtlich wieder erscheinen lassen; immer wieder kommen nämlich solche an sich veralteten Röhren in den Handel, und man muß die Daten, die Anschlüsse usw. kennen, wenn man sie verwenden will. Der III. Abschnitt dieses Kapitels ist den Selbstbauproblemen gewidmet.

I. Industrie-Schaltungstechnik

Die folgenden Ausführungen enthalten Hinweise auf die Art der derzeitigen Typen, den technischen Stand moderner Oszillografenröhren, über die Schaltungstechnik der Ablenkgeräte, der Meßverstärker, der Helligkeitssteuerung und des Netzteiles.

1. Allgemeines über Oszillografen-Typen

Aus dem dritten Kapitel dieses Buches ergeben sich die sehr zahlreichen und verschiedenartigen Anwendungsgebiete des Katodenstrahloszillografen. Es ist daher verständlich, daß sich die Industrie um die Schaffung von Spezial-

typen bemühte, die dem jeweiligen Anwendungszweck besonders entgegenkommen. Das ist das eine Haupt-Unterscheidungsmerkmal bei den heute zur Verfügung stehenden Geräten. Weiterhin werden — wie bei anderen industriellen Erzeugnissen auch — durch verschiedene Preisklassen Unterschiede geschaffen.

Zunächst seien die dem jeweiligen Anwendungszweck entsprechenden Spezialtypen kurz besprochen. Man kennt ausgesprochene Niederfrequenz-Oszillografen, weiterhin Universalgeräte, die im Niederfrequenz- und teilweise noch im Hochfrequenzgebiet verwendet werden können, und schließlich Impuls- bzw. Fernseh-Oszillografen, die sich besonders zur unverfälschten Wiedergabe von Größen mit nicht sinusförmigem zeitlichen Verlauf eignen. Die zuletzt genannte Gruppe ist zwar die teuerste, hat aber im Verlauf der letzten Jahre eine immer größere Bedeutung erlangt, was auf das stetige Vordringen der Fernseh- und Impulstechnik zurückzuführen ist. Auch die Radartechnik arbeitet bekanntlich mit kurzzeitigen Impulsen, und es wurden daher für diesen Sonderzweck von einer Spezialfirma ausgesprochene Radar-Oszillografen geschaffen.

Die Niederfrequenz-Oszillografen haben einen beschränkten Kippfrequenzbereich, da sie höchstens noch Schwingungen bis etwa 15 000 Hz auflösen müssen. Dafür geht der Frequenzbereich entsprechend tief herab, um auch noch sehr kleine Frequenzen verarbeiten zu können. Da im Niederfrequenzgebiet fast ausschließlich mit sinusförmigen Spannungen gearbeitet wird, sind die Anforderungen an die Bandbreite des Meßverstärkers natürlich nicht allzu hoch. Dafür verlangt man eine relativ große Empfindlichkeit, um auch sehr kleine Niederfrequenzspannungen nicht vorher verstärken zu müssen. Derartige Niederfrequenz-Oszillografen werden vorzugsweise bei Tonfrequenzuntersuchungen, aber auch in der Elektronik eingesetzt, z. B. in Verbindung mit Erschütterungs-, Dehnungs-, Druck- oder Zuggebern.

Die zweite Gruppe, Universal-Oszillografen genannt, ist wohl die älteste Ausführung, da die ersten Katodenstrahloszillografen für ein möglichst breites Anwendungsgebiet gedacht waren. Demnach ist man um einen möglichst großen Kippfrequenzbereich bemüht. Manche dieser Oszillografen reichen bis 100 kHz, vereinzelt sogar bis 300 kHz. Der fast stets vorhandene Verstärker für die Meßplatten hat keine allzu große Bandbreite; die meisten Typen begnügen sich mit Werten von etwa 10...100 kHz. Einfachere Ausführungen beschränken sich auf 100...200 kHz, was auch in der Mehrzahl der Fälle ausreicht. Bei billigeren, kleineren Ausführungen verzichtet man auf eine Triggermöglichkeit, arbeitet also ausschließlich mit periodischer Zeitablenkung. Die Verstärkungsgrade der Meßverstärker sind unterschiedlich. In dieser Gruppe findet man größere, relativ schwere und für stationären Betrieb gedachte Geräte, aber auch kleine, handliche und demnach leicht transportable Ausführungen, wie sie auf der Montage, im Prüffeld usw. von Nutzen sind.

Die Fernseh- bzw. Impulsoszillografen sind zweifellos vom technischen Standpunkt aus am interessantesten, schon weil in ihnen eine äußerst vielseitige Entwicklungsarbeit steckt. Schon deshalb sind solche Geräte nicht billig, und es hat sich als zweckmäßig erwiesen, innerhalb dieser dritten Hauptgruppe eine weitere Unterscheidung zu treffen. Man kennt nämlich die sogenannten Fernseh-Service-Oszillografen, die zur Untersuchung handelsüblicher Fernsehempfänger zwar vollständig ausreichen, den höchsten impulstechnischen Anforderungen jedoch nicht gewachsen sind, und die Spezial-Impuls-Oszillografen, die allen nur denkbaren, sehr hohen Anforderungen vorzugsweise im Laboratorium genügen. Natürlich gehören diese Ausführungen in die höchste Preisklasse, nicht nur wegen der investierten Entwicklungsarbeit, sondern auch wegen des schaltungstechnischen Aufwandes, der für diesen Spezialzweck unbedingt gefordert werden muß. So stellen beispielsweise Fernsehstudios, Forschungsstellen und ähnliche Institute höchste Anforderungen an den Meßverstärker hinsichtlich Überschwingen usw. Es ist erstaunlich, welche Fortschritte in dieser Richtung im Verlauf der letzten Jahre erzielt werden konnten. Spezialgeräte dieser Art sind vorzugsweise für stationären Betrieb gedacht, und es handelt sich um relativ große und schwere Einrichtungen, was schon wegen des erheblichen Schaltmittelaufwandes verständlich ist.

Nach dieser kurzen Übersicht sollen nun die einzelnen Organe bzw. Schaltstufen besprochen werden.

2. Allgemeine Eigenschaften moderner Oszillografenröhren

Da die Oszillografenröhre gewissermaßen das Meßwerk eines Katodenstrahloszillografen darstellt, hat man ihrer Durchbildung besondere Sorgfalt zugewandt. Die beachtlichen Fortschritte in der Elektronenoptik haben zur Schaffung von Systemen geführt, deren elektronenoptischer Fehler gegenüber den sonst möglichen Fehlern fast immer vernachlässigt werden kann. Diese Fragen interessieren jedoch praktisch nur den Hersteller von Oszillografenröhren. Der Verbraucher bzw. Oszillografenbesitzer muß wissen, daß heute Schirmdurchmesser von 70, 100, 130 und gelegentlich auch 180 mm gebräuchlich sind. Wie sich aus den früheren Ausführungen ergibt, bestimmt das Verhältnis zwischen Fleck- und Schirmdurchmesser die Auflösungsfähigkeit einer Oszillografenröhre. Es sei erwähnt, daß sich farbige Filter vor dem Leuchtschirm stark einführen konnten, da sich dadurch ein kontrastreiches und besser erkennbares Schirmbild ergibt. Die Filterfarbe entspricht der Art des Fluoreszenzlichtes, so daß diese Wellenlänge nahezu ungeschwächt das Filter passieren kann. Störendes Streulicht hingegen wird vom Schirm abgehalten. Am meisten sind die Farben gelb/grün, blau und weißlich vertreten. Die Strahlfokussierung erfolgt fast ausschließlich statisch. Das gilt auch für die

Ablenkung, da die bestrichenen Frequenzbereiche sehr groß sind. Eine magnetische Ablenkung hätte daher erhebliche Nachteile, obwohl sie für Sonderzwecke in Betracht gezogen werden kann.

Die Industrie liefert Einstrahl- und Mehrstrahlröhren. Mehr als zwei Strahlsysteme findet man jedoch relativ selten. Eine besondere praktische Bedeutung hat die Leuchtschirmform. Während früher fast ausschließlich gewölbte Schirme in Betracht kamen, geht man heute mehr und mehr zu planen Schirmen über, was besonders bei der quantitativen Auswertung von Oszillogrammen als recht angenehm empfunden wird. Ferner hat man sich mit Erfolg um kurze Baulängen und niedrige Betriebsspannungen bei einem Optimum an Helligkeit und Schärfe des Leuchtfleckes bemüht. Die schon seit langer Zeit bekannte Methode der Nachbeschleunigung findet sich auch bei bestimmten Typen moderner Oszillografenröhren. Sie hat den großen Vorteil einer nur wenig verringerten Empfindlichkeit bei gleichzeitiger erheblicher Helligkeitssteigerung. Im übrigen verweisen wir auf die Ausführungen des ersten Kapitels und des II. Abschnittes dieses Kapitels, in dem die Daten der Oszillografenröhren ausführlich verzeichnet sind.

3. Schaltungstechnik der Ablenkgeräte

Ein wesentliches Merkmal der modernen Entwicklungsrichtung ist in der Vielseitigkeit der Ablenkgeräte zu sehen. Während früher fast nur die periodische, selbständige Zeitablenkung üblich war, mißt man der einmaligen Ablenkung und dem Triggerbetrieb besonders große Bedeutung bei, allerdings nur bei größeren Oszillografen, bei denen der dadurch erforderliche Aufwand in Kauf genommen werden kann. Unter den vielseitigen, schon früher besprochenen Erzeugungsmethoden von Kippspannungen hat sich der Generator mit Hochvakuum-Elektronenröhren fast vollständig durchgesetzt; vor allem Multivibratoren in den verschiedensten Abarten, aber auch Transitron-Miller-Schaltungen sind in großer Zahl vertreten. Hinsichtlich Linearisierung der Kippspannung verzichtet man mehr und mehr auf eine besondere Laderöhre, die den Kippkondensator mit konstantem Strom auflädt. Man benützt vielmehr sehr häufig das Verfahren der Spannungsabschneidung, d. h. man lädt den Kippkondensator nur auf einen kleinen Bruchteil der Betriebsspannung auf und erhält so einen nahezu linearen Anstieg. Die relativ kleinen Amplituden dieser Kippspannung werden in besonderen Verstärkern heraufgesetzt und in ihrer Kurvenform gegebenenfalls noch zusätzlich durch Gegenkopplungsmaßnahmen oder auf ähnliche Weise entzerrt. Für diese Verstärker haben sich die Bezeichnungen Horizontalverstärker (weil die Kippspannung eine horizontale Strahlablenkung bewirkt) oder x-Verstärker eingeführt. Diese Bezeichnung soll die Übereinstimmung mit der Richtung der x-Achse in einem Koordinatensystem andeuten.

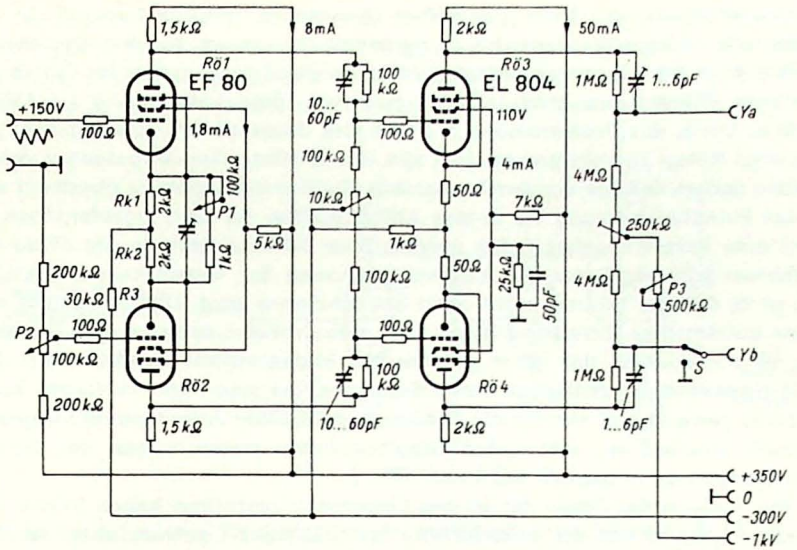


Bild 157: Zweistufiger Kippspannungsverstärker mit direkter Kopplung

Frequenzbandmäßig werden an diese Verstärker zahlreiche Anforderungen gestellt, vor allem hinsichtlich der unteren und der oberen Frequenzgrenze. Viele neuzeitliche elektronische Anwendungen spielen sich bei sehr geringen Frequenzen ab, deren Bewältigung im RC-Verstärker bereits mit Schwierigkeiten verknüpft ist. Man findet daher immer häufiger gleichspannungsgekoppelte x-Verstärker. Sie übertragen eine Kippspannung auch noch bei sehr tiefen Frequenzen unverzerrt. Die obere Frequenzgrenze muß wesentlich höher als die höchst erzeugbare Kippfrequenz liegen, da zur unverzerrten Übertragung einer Kippkurve zahlreiche Oberwellen höherer Ordnungszahl berücksichtigt werden müssen. Es handelt sich also um einen ausgesprochenen Breitbandverstärker. Weiterhin müssen schaltungsmäßige Vorkehrungen getroffen werden, damit der Verstärker nur schwer übersteuerbar ist. Es sind zahlreiche mehr oder weniger gute Schaltungen entwickelt worden, und anhand von Bild 157 soll eine solche Anordnung kurz besprochen werden [23]).

Die Schaltung eignet sich zur Übertragung von Kippfrequenzen zwischen 0,1 Hz und 300 kHz, der Frequenzbereich reicht von 0...8 MHz. Der Eingang des Verstärkers kann durch Spitzenspannungen von 40 V_{ss} nicht übersteuert werden. Wie man sieht, sind die beiden Gegentakt-Eingangsröhren EF 80 stark

[23]) Hantsche, Ein Kippspannungsverstärker mit Zeitdehnung. — Elektronik 1956, Heft 8, S. 223.

gegengekoppelt und daher gegenüber Streuungen recht unempfindlich. Mit Hilfe von P 1 kann die Gegenkopplung genau einreguliert werden. Der oberen Röhre wird die Kippspannung unmittelbar zugeführt, während das Gitter der unteren Röhre einen Bruchteil der positiven Betriebsspannung (+ 350 V) erhält. Durch das Potentiometer P 2 läßt sich demnach der Arbeitspunkt der unteren Röhre so verschieben, daß sich das mittlere Anodenpotential dieser Röhre ändert. Infolge der durchgehenden Gleichstromkopplung überträgt sich diese Potentialänderung bis zu den Ablenkplatten der Oszillografenröhre, so daß man verzerrungsfrei jeden gewünschten Bildausschnitt in die Mitte des Schirmes schieben kann. Die Ausgangsspannung des Verstärkers ist nämlich so groß, daß der Schirm relativ weit überschrieben wird. Dadurch ergibt sich eine beträchtliche Zeitdehnung und man steht vor der Aufgabe, die Zeitbasis so zu verschieben, daß jeder gewünschte Bildausschnitt sichtbar wird. Die Gleichspannungsverhältnisse dieser Schaltung, die man leicht verfolgen kann, sind so gewählt, daß sich für die Röhren zweckmäßige Arbeitspunkte ergeben. Schwierigkeiten bei sehr tiefen Kippfrequenzen treten wegen der Gleichstromkopplung prinzipiell nicht auf.

Die Außenwiderstände der beiden Gegentakt-Vorröhren haben Werte von nur 1,5 kΩ, so daß die erforderliche Breitbandigkeit gewährleistet ist. Die Ausgangsspannungen gelangen galvanisch über jeweils zwei Widerstände von je 100 kΩ auf die Steuergitter der im Gegentakt geschalteten Endröhren EL 804. Zur Kompensation der schädlichen Parallelkapazitäten sind zwei Trimmer von 10...60 pF vorgesehen. Auch die Anodenwiderstände der Endröhren sind mit 2 kΩ so klein, daß die Bandbreite noch ausreicht. Die Anodenspannungen werden über Vorwiderstände von jeweils 1 MΩ abgegriffen und von dort den Ablenkplatten zugeführt. Auch hier sind die Gleichspannungsverhältnisse so gewählt, daß das mittlere Gleichspannungspotential der Endröhrenanoden praktisch dem Nullpotential entspricht, auf dem sich auch die Anode der Oszillografenröhre befindet. Infolgedessen sind die schon früher erörterten Verzerrungen, die sich durch ein gegenüber der Anode abweichendes Gleichspannungspotential der Ablenkplatten ergeben können, unmöglich. Kompensationsglieder zur Korrektur des Frequenzganges in der Nähe der oberen Grenzfrequenz fehlen, so daß man mit Überschwingen nicht zu rechnen braucht. Das Potentiometer P 3 hat die Aufgabe, bei Erdung einer Ablenkplatte das Bild in die Mitte zu verschieben. Dadurch entspricht das Koppelpotential dem Erdpotential.

Kippspannungsverstärker in der beschriebenen Form sind sehr leistungsfähig, erfordern aber einen nicht unbeträchtlichen Aufwand. Man findet sie daher vorzugsweise in größeren und damit teureren Geräten. In einfacheren Schaltungen begnügt man sich mit RC-Systemen.

Neben dem x-Verstärker kommt natürlich dem Kippgerät selbst die größte Bedeutung zu. Da wir bereits in früheren Kapiteln die wichtigsten Anordnun-

gen beschrieben haben, sei lediglich in Bild 158 die Prinzipschaltung eines katodengekoppelten Multivibrators dargestellt, wie er in einem Grundig-Gerät zur Anwendung kommt. Diese Kippschaltung kann mit Hilfe eines Wählschalters auf kontinuierliche oder einmalige Ablenkung gestellt werden.

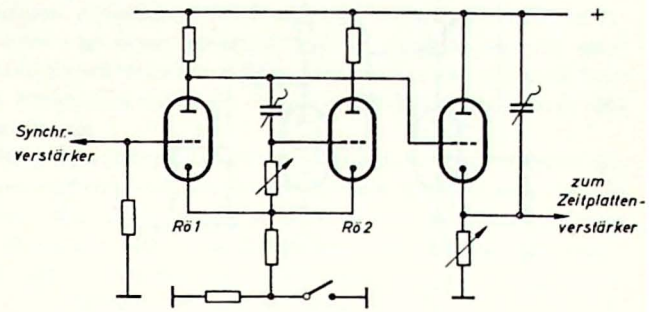


Bild 158: Katodengekoppelter Multivibrator zur Zeitablenkung

Will man mit einmaliger Ablenkung arbeiten, so erhöht man den Katodenwiderstand. Dann ist Rö 1 gesperrt, deren Gitter an Masse liegt. Dagegen führt Rö 2, deren Steuergitter auf Katodenpotential liegt, Strom. Wenn man auf das Gitter von Rö 1 einen positiven Impuls schaltet, wird in dem Multivibrator ein einmaliger Kippvorgang ausgelöst, nach dem das System wieder in seine Ausgangsstellung zurückfällt. Es ergibt sich also eine Rechteckspannung am Außenwiderstand von Rö 1, die in galvanischer Kopplung die Entladeröhre steuert. Befindet sich die Schaltung in Ruhe, so führt die Entladeröhre Strom und es ergibt sich eine Entladung der parallel liegenden Kapazität. Tritt ein Kippvorgang auf, so sperrt die Multivibratorspannung die Entladeröhre, und die Kapazität kann sich über einen Widerstand aufladen. Die Schaltung liefert eine Amplitude von etwa 15 V_{ss}.

Für das sichere Arbeiten eines Oszillografen ist die Güte der Synchronisierung entscheidend. Natürlich läßt sich eine Kippschaltung auch aus einer beliebigen Meßspannung synchronisieren; wie schon früher erörtert, ist diese Lösung jedoch aus mancherlei Gründen unbefriedigend. Deshalb findet man in modernen größeren Oszillografen häufig zusätzliche Synchronisierspannungs-Verstärker, etwa nach Bild 159, das ebenfalls einen Ausschnitt aus einem Grundig-Oszillografen zeigt. Durch Übersteuerung der Röhren werden die Flanken versteilert, so daß man die für die Synchronisierung günstigen steilen Flanken an dem Außenwiderstand der letzten Röhre abnehmen kann. Um stets unabhängig von der Meßspannung die richtige Synchronisierpolarität einstellen zu können, kann man über einen Schalter die Ausgangsspannung wahlweise an der Katode oder der Anode abnehmen.

Diese Verstärker ergeben gleichzeitig eine sehr erwünschte Trennung zwischen der Meßspannung und dem Eingang der Kippschaltung. Es sind darüber hinaus besonders in größeren Oszillografen zusätzliche Stufen denkbar, die die Synchronisierspannung aus der Meßspannung abzweigen und so ver-

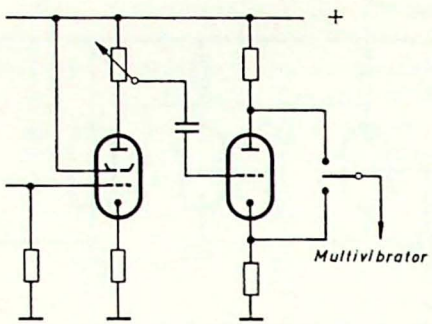


Bild 159: Verstärker für die Synchronisierspannung

stärken, verformen und begrenzen, daß der Ausgang des Systems stets in ihrer Form absolut gleichartige positive oder negative Impulse liefert, die eine völlig stabile Synchronisierung des Ablenkgerätes gewährleisten. Impulsoszillografen, die sich sowohl von negativen als auch von positiven Impulsen einwandfrei synchronisieren lassen müssen, haben ferner Umschaltvorrichtungen, mit denen die Polarität des Eingangsimpulses über Phasenumkehrstufen stets so gewählt werden kann, daß eine optimale Synchronisierung gewährleistet ist.

Die Triggerschaltungen haben wir im Prinzip und auch anhand einiger Beispiele bereits auf S. 139 besprochen, so daß weitere Ausführungen unnötig sein dürften.

Bekanntlich ist im Triggerbetrieb eine erhebliche Zeitdehnung möglich. Eine solche Zeitdehnung läßt sich auch einfach dadurch erreichen, daß man die Zeitbasis spannungsmäßig erheblich dehnt. Eine auf diesem Prinzip beruhende Verstärkerschaltung wurde bereits anhand von Bild 157 besprochen.

Moderne größere Oszillografen enthalten Verzögerungsglieder für die Meßspannung. Der Zweck wurde bereits auf S. 142 erläutert. Da es sich um relativ kleine Verzögerungswerte handelt, genügen im allgemeinen Laufzeitkabel oder LC-Laufzeitketten. Nur wenn die Verzögerung beträchtlich sein soll, verwendet man sogenannte Verzögerungs-Multivibratoren. Sie erzeugen eine Rechteckspannung veränderlicher Breite, die an der Vorderflanke mit der Meßspannung synchronisiert wird. Die Rückflanke liefert dann ein um die Impulsbreite verzögertes Signal. Allerdings kann man mit diesen Schaltungen natürlich nicht die Meßspannung verzögern, sondern höchstens die Kipp-

spannung. Verwendet man jedoch zwei solcher Multivibratoren, so wird die Verzögerung größer als eine volle Periode, so daß sich schließlich eine Nacheilung der Meßspannung gegenüber der Kippspannung ergibt. Diese Schaltungen haben allerdings nur in Sonderfällen Bedeutung.

Um den Oszillografen möglichst universell verwendbar zu machen, findet man häufig Synchronisier-Wahlschalter. Sie erlauben eine Synchronisierung aus der dem Oszillografen zugeführten Meßspannung selbst (interne Synchronisation) oder sie können an einen Anschluß geführt werden, der mit einer von außen zugeführten Synchronisierspannung verbunden ist (externe Synchronisierung). Auch ermöglicht solch ein Schalter die Synchronisierung aus dem Wechselstromnetz.

Abschließend sei noch darauf hingewiesen, daß sich neben der Angabe des Kippfrequenzbereiches auch die Angabe der reziproken Kippgeschwindigkeit immer mehr einbürgert. Man gibt also an, in welcher Zeit der Strahl um eine bestimmte Längeneinheit, z. B. um 1 cm, in horizontaler Richtung abgelenkt wird (Dimension sec/cm). Je kleiner dieser Wert ist, um so größer ist die mögliche Auflösung. Als Beispiel sei der Siemens-Oszillograf Oszillar I/14 erwähnt, bei dem in der äußersten Stellung innerhalb einer Mikrosekunde die volle Schirmbreite von 13 cm überschrieben werden kann. Der Schirmbreite entspricht also eine äußerst geringe Zeit. Zu kleineren Kippfrequenzen gehören natürlich längere Zeiten.

Auf die Linearität des Ablenkteiles wird besonderer Wert gelegt. Als Linearitätsabweichung kann man die prozentuale Abweichung des Abstandes zwischen den ersten beiden Nulldurchgängen einer Sinus- oder Rechteckspannung von dem der letzten beiden Nulldurchgänge angeben. Es ist auch möglich, die maximale und minimale Steilheit der Hinlaufkurve in Relation zu setzen.

Mit den vorstehenden Ausführungen dürften die grundsätzlichen, heute gültigen Schaltungsprinzipien im Ablenkteil moderner Industrie-Oszillografen dargelegt sein.

4. Der Meßverstärker

Da der Meßverstärker schon im ersten Kapitel ziemlich ausführlich behandelt worden ist, können wir uns hier auf einige ergänzende, für moderne Ausführungen typische Kennzeichen beschränken. Man nennt den Meßverstärker auch Vertikalverstärker, weil seine Ausgangsspannung den Leuchtfleck in vertikaler Richtung ablenkt. Ferner hat sich die Bezeichnung y-Verstärker eingebürgert, weil die Ablenkrichtung mit der Ordinate, also der y-Achse eines Koordinatenkreuzes, zusammenfällt. Auch diesem y-Verstärker wurde große Aufmerksamkeit gewidmet, denn er ist weitgehend für die unverzerrte Darstellung des zu oszillografierenden Vorganges verantwortlich. Bei einfacheren Oszillografen oder bei Spezialtypen, die nur für die Untersuchung

niederfrequenter Vorgänge bestimmt sind, genügt eine obere Grenzfrequenz von etwa 20 kHz. Die Verstärkung läßt sich dann mit relativ geringem Aufwand sehr hoch treiben. Universaloszillografen haben in ihren y-Verstärkern Grenzfrequenzen von einigen hundert kHz, während Hochleistungs-Oszillografen bzw. Fernseh- und Impuls-Spezialausführungen mitunter bis 80 MHz hinaufreichen. Will man den Aufwand nicht untragbar groß machen, so ist die Verstärkung relativ gering. Hohe obere Grenzfrequenzen werden heute infolge der sehr gut entwickelten Breitbandtechnik ohne weiteres beherrscht. Den Schwierigkeiten, die sich bei sehr niedrigen Frequenzen ergeben, kann man durch Gleichspannungskopplung Rechnung tragen. Auch Trägerfrequenzverstärker kommen in Betracht, insbesondere für niedere Frequenzen. Da sich hier keinerlei Schwierigkeiten bei der Stabilisierung des Arbeitspunktes wie bei Gleichspannungsverstärkern ergeben, lassen sich hohe Verstärkungsziffern realisieren. Solche Verstärker haben vor allem bei speziellen elektronischen Anwendungen des Oszillografen (z. B. bei Dehnungsmessungen) Bedeutung.

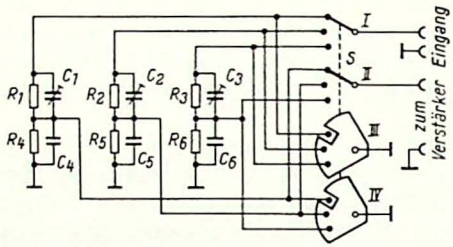


Bild 160: Schaltung eines Eingangs-Spannungsteilers

Von ausschlaggebender Wichtigkeit ist die Eingangsschaltung des Meßverstärkers, in der auch die Regelorgane für die Ausgangsamplitude zu finden sind. Auf Seite 56 wurde bereits die Möglichkeit der verschiedenen Eingangs-Spannungsteiler erörtert, und es wurde auch kurz auf den kompensierten Spannungsteiler verwiesen, den wir hier seiner großen praktischen Bedeutung halber etwas näher erörtern wollen.

Bild 160 zeigt einen in drei Stufen einstellbaren kompensierten Spannungsteiler, dessen grundsätzliche Wirkungsweise in der obersten Stellung des Umschalters I/II untersucht werden soll. Wie man sieht, wird die Eingangsspannung einem frequenzabhängigen Spannungsteiler R_1R_4 zugeführt; die Widerstände sind mit den Kondensatoren C_1C_4 überbrückt. Die Kapazität C_4 setzt sich zum größten Teil aus den schädlichen Parallelkapazitäten zusammen, die im Eingang des Verstärkers zu finden sind. Bei großen Werten von R_1R_4 würden sich diese Kapazitäten sehr schädlich auswirken, da sie z. B. für Rechteckspannungen zusammen mit den Widerständen als Integratoren

wirken. Dieser Einfluß wird durch die Zusatzkapazität C_1 kompensiert. Wie sich mathematisch zeigen läßt, arbeitet der Spannungsteiler frequenzabhängig, wenn $R_1C_1 = R_4C_4$ ist. Es kommt also auf die Gleichheit der Zeitkonstanten an. Eine genaue Einregelung kann mit Hilfe des Trimmers C_1 vorgenommen werden, das Einregeln selbst erfolgt zweckmäßigerweise mit Hilfe von Rechteckspannungen. Man stellt C_1 so ein, daß das Rechteck in seiner Form optimal wird. Es ist gleichgültig, bei welcher Frequenz man diese Justierung vornimmt; sind die Zeitkonstanten gleich, so arbeitet der (jetzt frequenzunabhängige) Teiler bei allen Frequenzen einwandfrei.

Dasselbe gilt sinngemäß für die anderen Stufen, die mit Hilfe des Schaltarmes I eingeschaltet werden können. Jede Stufe hat ein anderes Widerstandsverhältnis, so daß das Spannungsteilerverhältnis jeweils verschiedenartig ist. Immer jedoch werden die Trimmer auf Gleichheit der Zeitkonstanten abgeglichen. Für den Umschalter selbst verwendet man gewöhnlich Spezialausführungen, die nach Bild 160 beispielsweise vier Kontaktarme haben. Die Arme I und II schalten, wie beschrieben, die verschiedenen Glieder um, während mit Hilfe der Arme III und IV die jeweils nicht benützten Glieder an Masse gelegt werden. Dadurch vermeidet man unkontrollierbare und schädliche kapazitive Streuungen, die die einwandfreie Wirkungsweise des Teilers stören würden. Selbstverständlich können die ohmschen Widerstände sehr groß gemacht werden, so daß die Meßspannung nur unwesentlich belastet wird. Der Eingangswiderstand sollte höher als 1 MΩ sein. Ferner ist auf eine kleine Eingangskapazität zu achten.

Kompensierte Spannungsteiler der beschriebenen Art findet man in allen Oszillografen, die nicht sinusförmige Größen einwandfrei übertragen sollen. Üblich sind 3...10 Stufen. Um die zwischen den Stufen liegenden Sprünge zu überbrücken, sind in der Vorstufe des y-Verstärkers meist Katodenregler vorgesehen, die entweder die Gittervorspannung der Regelröhre ändern oder gegenkoppelnd wirken. Dadurch ergibt sich eine ausreichende Feinregelung. Selbstverständlich kann man von kompensierten Spannungsteilern absehen, wenn der betreffende Oszillograf nur zur Untersuchung relativ niederfrequenter Sinusspannungen bestimmt ist.

Es wurde bereits im ersten Kapitel darauf hingewiesen, daß die y-Verstärker nicht nur eine ausreichende amplitudenmäßige, sondern auch eine hinreichende phasenmäßige Bandbreite aufweisen müssen. Mit den hier nicht zur Debatte stehenden Mitteln der Breitbandtechnik läßt sich das leicht erreichen, allerdings mit nicht unbeträchtlichem Aufwand. In den Endstufen kommen nur leistungsfähige Endröhren in Betracht, da man aus Bandbreitegründen relativ kleine Außenwiderstände wählen muß, an diesen jedoch wegen der erforderlichen hohen Ausgangsspannung einen beträchtlichen Spannungsabfall verlangt. Das ist nur mit Hilfe hoher Ströme, wie sie moderne Endröhren liefern, möglich. Röhren vom Typ EL 84, EL 41 usw. sind sehr geeignet.

Bei Impulsoszillografen sind die Forderungen an den Verstärker außerordentlich hoch. Um ein Beispiel dafür zu geben, was Spitzenoszillografen zu leisten vermögen, sei gesagt, daß der schon einmal erwähnte Siemens-Oszillograf Oszillar I/14 ein maximales Überschwingen von nur 1 % zeigt. Bei einer Rechteckspannung von 50 Hz beträgt die Dachschräge ebenfalls nur 1 %. Die Anstiegszeit liegt bei dem unwahrscheinlich kleinen Wert von 0,025 µsec. Dabei hat dieser Verstärker immerhin eine Empfindlichkeit von 0,12 mm/mV_{ss}. Derartig hochwertige Verstärker lassen sich in der Praxis mitunter gar nicht ausnützen. Aber schon bei etwas kleinerem Aufwand, wie er z. B. in dem Siemens-Gerät Oszillarzet getrieben wird, ergeben sich noch recht günstige Werte. Der zu diesem Oszillografen gehörende y-Verstärker weist ein maximales Überschwingen von 3 % und eine Dachschräge von ebenfalls 3 % bei einer 50-Hz-Rechteckschwingung auf. Die Anstiegszeit beträgt immerhin nur 0,1 µsec, und die Ablenkempfindlichkeit liegt bei 0,17 mm/mV_{ss}. Das sind recht beachtliche Werte.

Mitunter befinden sich beide Pole der zu untersuchenden Spannung auf einem hohen, störenden Wechselspannungspotential. Das trifft z. B. auf Kardiografenverstärker zu, die eine Nutzspannung von etwa 1 mV verstärken müssen. Sie wird von verschiedenen Stellen des Körpers abgegriffen, der jedoch als ganzer gegenüber dem Schaltungsnullpunkt durch kapazitve Einstreuung von Seiten der im Raum verteilten Netzspannungsleitungen eine relativ hohe Wechselspannung mit Netzfrequenz gegen Erde führt. Mit einfachen Verstärkern läßt sich diese Störspannung nicht eliminieren. Hier bildet der sogenannte Differenzverstärker einen guten Ausweg, dessen prinzipielle Anordnung in Bild 161 dargestellt ist. Die beiden Verstärkerröhren haben als gemeinsamen Katodenwiderstand eine Triode Rö 3, der eine richtig dosierte negative Gittervorspannung zugeführt wird. An den Steuergittern der Röhren Rö 1 und Rö 2 liegt normalerweise die auf hohem Störspannungspotential befindliche Meßspannung. Sie wird unwirksam, wenn vor der Messung der links unten befindliche Umschalter in die Stellung „Kompensieren" gebracht und das Potentiometer P so eingeregelt wird, daß die Amplitude der Störspannung an beiden Gittern genau gleich groß ist. Da die Störspannungen an den Gittern gleichphasig sind, heben sie sich in bezug auf die Anodenkreise auf, so daß zwischen den beiden Röhrenanoden, an denen der Oszillograf liegt, keine Störspannung mehr vorhanden ist. Schaltet man anschließend auf „Messen" um, so werden die Röhren von der Meßspannung gegenphasig gesteuert, und man erhält zwischen den Röhrenanoden die entsprechend verstärkte und demnach zur Anzeige kommende Meßspannung. Bei zweckmäßiger Ausbildung eines solchen Differenz-Verstärkers lassen sich Störabstände bis 1 : 50 000 erzielen. Natürlich findet man solche Anordnungen nicht in jedem Oszillografen, sondern nur in Spitzengeräten für spezielle Zwecke.

Als Beispiel für einen zwar hochwertigen, jedoch relativ einfachen γ-Verstärker zeigt Bild 162 die Schaltung des Meßverstärkers beim Grundig-Oszillografen Typ 219. Es handelt sich um einen ausgesprochenen Service-Oszillografen, an den keine überspitzen Anforderungen gestellt werden müssen. Im

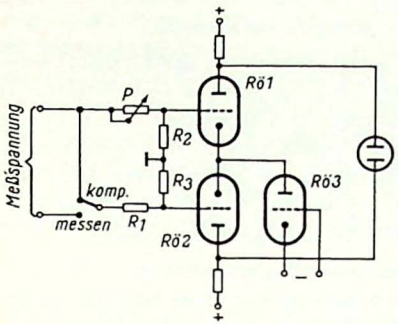


Bild 161: Schaltung eines Differenz-Verstärkers

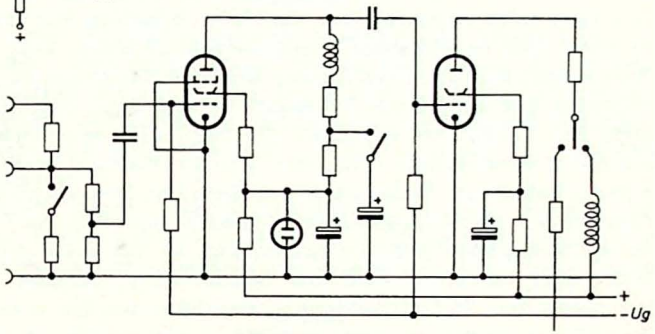


Bild 162: Meßverstärker beim Grundig-Oszillografen, Typ 219

Eingang des Gerätes liegt ein kompensierter Spannungsteiler, der in Stufen von 1 : 1, 1 : 3, 1 : 10, 1 : 30 und 1 : 100 umgeschaltet werden kann. Außerdem ist ein zusätzlicher Spannungsteiler vorgesehen, so daß eine Gesamt-Spannungsteilung von 1 : 10 000 möglich ist. Wie man sieht, ist die erste Stufe des Verstärkers zusätzlich durch eine Stabilisatorröhre stabilisiert. Anoden- und Schirmgitterspannung werden konstant gehalten. Im Anodenkreis liegt ferner ein Umschalter, mit dessen Hilfe ein größerer oder kleinerer Außenwiderstand eingeschaltet werden kann. Im ersten Fall (Schmalbandstellung) ergibt sich eine Bandbreite von 30 Hz...100 kHz ± 3 dB bei einer Eingangsempfindlichkeit von etwa 2 mV_{eff}/cm. In der Breitbandstellung ist die Bandbreite wesentlich höher; sie reicht von 20 Hz...3 MHz ± 3 dB, wobei die Eingangsempfindlichkeit mit 40 mV_{eff}/cm natürlich geringer ist. Ferner liegt im Anodenkreis eine Drossel, die den Frequenzgang in Nähe der oberen Grenzfrequenz verbessert. Die zweite Stufe ist mit der ersten kapazitiv gekoppelt. Auch der Anodenkreis der zweiten Stufe ist umschaltbar. In der Schmalbandstellung steht der

Schalter links; hier wirkt die Reihenschaltung der beiden ohmschen Widerstände. In der Breitbandstellung ist nur der obere Widerstand in Reihe mit einer Kompensationsdrossel wirksam. Die Gittervorspannung für die Röhren wird separat zugeführt, so daß die Katoden unmittelbar auf Massepotential liegen können; damit werden die Nachteile der Katodenkondensatoren, die bei Breitbandverstärkern unangenehm sein können, vermieden.

Sollen mit Oszillografen genaue, quantitative Messungen durchgeführt werden, so muß die Möglichkeit einer N a c h e i c h u n g gegeben sein. Hierfür ist in hochwertigen Geräten eine Eichspannungsquelle vorgesehen, die man mit einem Schalter an den Eingang legen kann. Üblich sind z. B. trapezförmige Kurven, die man aus der Netzwechselspannung durch Abschneiden mit Hilfe antiparallel geschalteter Dioden gewinnt. Da solche Abschneidestufen sehr exakt arbeiten, bekommt man eine zuverlässige Eichspannungsquelle.

Meßverstärker werden häufig in Verbindung mit sogenannten T a s t k ö p f e n verwendet. Es handelt sich um kleine, handliche Röhrchen oder Kästchen, in denen sich verschiedene Schaltelemente befinden. Sehr beliebt sind z. B. Spannungsteiler, die einen kleinen Bruchteil der gesamten Meßspannung abzugreifen gestatten. Diese Teilspannung wird dann über ein Kabel dem Eingang des Verstärkers zugeführt. Bei frequenzkompensierten Teilern dürfen die Kabel ohne weiteres lang sein. Für die Messung höchstfrequenter Spannungen haben sich Tastköpfe mit eingebauten Demodulatoren bewährt, z. B. Germanium- oder Röhrendioden. Man kann dann mit dem Tastkopf sehr nahe an die Meßspannungsquelle herangehen, so daß diese nicht unzulässig belastet oder verstimmt wird. Die demodulierte Spannung kann über lange Leitungen dem Verstärkereingang zugeführt werden. Dabei ist — bei unmodulierten Hochfrequenzspannungen — ein oszillografischer Nachweis der Richtspannung möglich; ist die Spannungsquelle moduliert, so kann die demodulierte Spannung in einem RC-Meßverstärker entsprechend heraufgesetzt und zur Anzeige gebracht werden. Es gibt auch Tastköpfe mit Katodenverstärker, die als Impedanzwandler wirken und trotz hochohmiger Spannungsquellen lange Leitungen zwischen Tastkopf und Verstärkereingang ermöglichen. Weiterhin sind Tastköpfe gebräuchlich, die nur einen Kondensator zur Abtrennung von Gleichspannungskomponenten enthalten, aber auch solche, die mit einem kompletten Vorverstärker versehen sind. Es kommt hier natürlich ganz auf den jeweiligen Anwendungszweck an.

5. Helligkeitssteuerung

Die schon früher in ihrem Wesen besprochene Helligkeitssteuerung bildet sozusagen die dritte Dimension des Oszillografen. Man spricht daher auch — entsprechend der dritten Achse in einem räumlichen Koordinatennetz — von der z-Steuerung. Sie ist besonders bei komplizierteren Oszillogrammen oder

bei solchen, die meßtechnisch ausgewertet werden sollen, von Interesse. Grundsätzlich wird sie durch einen mehr oder weniger langen negativen Impuls auf den Wehneltzylinder bewirkt, der Impuls selbst wird geeigneten Punkten der Ablenkschaltung entnommen. Helligkeitssteuerung wird übrigens nicht nur zur Rücklaufverdunkelung oder Hinlaufaufhellung angewandt, sondern auch zum Ausblenden von Zeitmarken, wovon schon die Rede war. Selbstverständlich können beide Helligkeitsbeeinflussungen auch kombiniert verwendet werden; um eine Verkopplung der beiden Steuerspannungen zu vermeiden, kann die eine auf den Wehneltzylinder, die andere auf die Katode der Oszillografenröhre geschaltet werden. Handelt es sich um die Steuerung mit sehr langen Impulsen niederer Folgefrequenz, so kann man auch mit Trägerfrequenzen arbeiten und vermeidet dadurch die mit großen Koppelkondensatoren verbundenen Schwierigkeiten.

6. Stromversorgung

Die schon im ersten Kapitel ausführlich besprochenen Schaltungen zur Stromversorgung findet man auch in mehr oder weniger abgewandelter Form bei modernen Industrieoszillografen. Da wir nur kurz auf die Möglichkeit der Spannungsstabilisierung hinweisen und da hiervon infolge der gesteigerten Ansprüche mehr und mehr Gebrauch gemacht wird, sei kurz auf das Wichtigste eingegangen.

Am empfindlichsten gegen Spannungsschwankungen sind natürlich die Eingangsstufen des Meßverstärkers. In Bild 162 wurde bereits gezeigt, wie man hier eine einfache und zweckmäßige Stabilisierung vorsehen kann. Diese

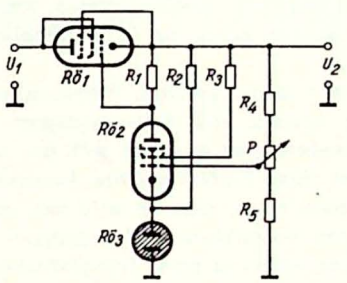


Bild 163: Schaltung einer elektronischen Spannungsregelung

Maßnahme genügt jedoch nicht immer, besonders wenn höhere Spannungen stabilisiert werden sollen oder wenn man größere stabilisierte Leistungen benötigt. Man findet zwar häufig eine Hintereinanderschaltung von Glimmstrecken; nachteilig ist jedoch vor allem der relativ hohe Wert der Speisespannung dieser Strecken sowie die Tatsache, daß manche Glimmstabilisatoren von sich aus zu Spannungssprüngen neigen, die mit der Natur der Gas-

entladung zusammenhängen. Man geht daher mehr und mehr zur rein elektronischen Spannungsregelung über, wofür z. B. eine Schaltung nach Bild 163 in Betracht kommt. Das Prinzip wurde schon häufig in der Literatur beschrieben, so daß die Wirkungsweise der Schaltung nur kurz angedeutet werden soll. Die zu stabilisierende Spannung U_1 liegt an der Anode von Rö 1, der Katode wird die stabilisierte Spannung U_2 entnommen. Von dieser Spannung wird auch über R_1 die Steuerröhre Rö 2 gespeist, in deren Katodenleitung eine Stabilisatorröhre Rö 3 liegt. Diese Röhre erhält ihren Betriebsstrom zum größten Teil über R_2; R_3 ist der Schirmgitterwiderstand. An P wird ein Teil von U_2 abgegriffen und dem Steuergitter von Rö 2 zugeführt. Eventuelle kleine Änderungen von U_2, wie sie bei Schwankungen von U_1 oder Belastungsschwankungen an den Ausgangsklemmen denkbar sind, wirken auf das Steuergitter von Rö 2 relativ kräftig ein, weil ein erheblicher Teil der Gleichspannung durch Rö 3 kompensiert wird. Demnach kommen die Spannungsschwankungen, auf die es ankommt, stark zur Geltung. Erhöht sich z. B. U_2 um eine Kleinigkeit, so steigt auch die Spannung am Steuergitter von Rö 2. Das ist mit einem Absinken der Spannung an der Anode dieser Röhre verbunden, so daß gleichzeitig die Spannung zwischen Gitter und Katode von Rö 1 negativer wird. Folglich erhöht sich deren Innenwiderstand, was bei richtiger Bemessung der Schaltorgane ein Zurückgehen von U_2 auf den alten Wert bewirkt. Die Schaltung arbeitet in weiten Grenzen trägheitsarm, so daß an den Ausgangsklemmen eine sehr stabile Spannung zur Verfügung steht. Da jede durch Belastungsänderung auftretende Spannungsschwankung wirksam ausgeregelt wird, ist der dynamische Innenwiderstand solcher Regelschaltungen mit etwa 2...10 Ω sehr klein. Das ist ein weiterer beachtlicher Vorteil insbesondere bei Oszillografenschaltungen, weil man große Entkopplungskondensatoren einsparen kann, die in empfindlichen Schaltungen stets ungern gesehen sind.

Selbst wenn man sämtliche Schaltstufen eines Oszillografen elektronisch stabilisiert, können sich Schwankungen des Leuchtschirmbildes bei Netzspannungsänderungen ergeben, weil die Anodenspannung der Oszillografenröhre selbst einen Einfluß auf die Ablenkempfindlichkeit hat. Ist diese Spannung also nicht stabilisiert, so wird sich bei Abnahme der Netzspannung das Oszillogramm vergrößern, bei Zunahme dagegen verkleinern. Tritt dieser Effekt gerade während einer fotografischen Aufnahme auf, so wird das Bild unscharf, wenn nicht ganz unbrauchbar. Deshalb wird in sehr hochwertigen Oszillografen auch die Anodenspannung der Oszillografenröhre stabilisiert. Auch hier hat man die Wahl zwischen Stabilisierung mit Glimmlampenkaskaden und rein elektronischer Stabilisierung. Eine Kaskadenstabilisierung, z. B. mit den bekannten Coronastabilisatoren, hat den Vorteil großer Einfachheit und bringt bereits recht gute Ergebnisse. Nachteilig sind jedoch wie bei allen solchen Schaltungen der hohe Speisespannungsbedarf und die Möglich-

keit innerer Spannungssprünge. Eine elektronische Regelung ist daher vorzuziehen. Sie kann entweder nach einer Schaltung nach Bild 163 oder auch mit einfacheren Anordnungen erfolgen. So kann man in vielen Fällen die Steuerröhre Rö 2 weglassen und das Gitter von Rö 1 unmittelbar (unter Beachtung der richtigen Vorzeichen) mit der schwankenden Spannung steuern. Der Grad der Stabilisierung ist vor allem eine Frage des Aufwandes.

7. Tabellarische Übersicht über handelsübliche Oszillografen

Wie schon zu Beginn dieses Kapitels erwähnt, wurde von einer ausführlichen Beschreibung der heutigen Industrie-Oszillografen abgesehen. An ihre Stelle tritt eine tabellarische Übersicht [24]) über die derzeit in Westdeutschland lieferbaren handelsüblichen Oszillografen, denen die wichtigsten und in der Praxis interessantesten Daten entnommen werden können. Tabelle 1 bringt Angaben über Geräte mit 70-mm-Schirm, Tabelle 2 berücksichtigt die Typen mit 100-mm-Schirm, während Tabelle 3 Angaben für Oszillografen mit 130- bis 180-mm-Schirmen bringt. Schließlich sind in Tabelle 4 die Daten der Zweistrahl-Oszillografen enthalten. Die beigefügten Fußnoten zu den einzelnen Tabellen bringen Sonderangaben, um die Auswertung zu erleichtern. In diesem Zusammenhang sei noch erwähnt, daß der Arbeitskreis Oszillografen der Fachabteilung „Elektrische Meßtechnik" des ZVEI Vorschläge für einheitliche Begriffe und Maßeinheiten für Oszillografen gebracht hat. Da diese Vorschläge noch nicht verbindlichen Charakter haben, sehen wir von ihrer Wiedergabe ab.

[24]) Die Tabellen wurden mit freundlicher Genehmigung des Autors und des Verlags aus der Arbeit von P. E. Klein, „Elektronenstrahl-Oszillografen" in Elektronik (Franzis-Verlag), 1956, H. 6, S. 155—158, entnommen. Für die Abdruckgenehmigung dankt der Verfasser sowohl dem Autor des zitierten Artikels als auch dem Verlag.

Tabelle 1. Oszillografen mit 70-mm-Schirm

				1	2	3
Firma			—	Elektro-Spezial	Dr. Klein	Elektro-Spezial
Typ			—	GM 5655	123	GM 5659
Braunsche Röhre			Typ	DG 7—5	DG 7—6	DG 7—5
Anodenspannung			kV	0,8	0,6	0,95
X-Ablenkfaktor [1])			Vss/cm	—	40	80
Y-Ablenkfaktor [2])			Vss/cm	44	28	50
Zeitablenkung	Frequenz	von	Hz	5	2	3
		bis	kHz	30	100	250
	Trigger [3])		—	—	—	—
X-Verstärker	Frequenz	von	Hz	3	—	0,3
	[4])	bis	kHz	150	—	800
Y-Verstärker	Ablenkfaktor		mVss/cm	60	28	60
	Frequenz	von	Hz	3	3	0,3
	[5])	bis	kHz	150	500	800
	Regelung		stetig/ Stufenzahl	st/2	st	st/5
Bemerkungen			—	[6])	[7]) [8])	[6])

[1]) Ein Strich bedeutet, daß die X-Ablenkplatten nicht direkt, sondern nur über den eingebauten Verstärker zugänglich sind.

[2]) Ein Strich bedeutet, daß die Y-Ablenkplatten nicht direkt, sondern nur über den eingebauten Verstärker zugänglich sind.

[3]) Ein Strich bedeutet, daß ein Trigger in das Gerät nicht eingebaut ist, d. h. daß die Zeitablenkung nur periodisch in der Regel intern und extern synchronisierbar schwingt.

[4]) Striche bedeuten, daß ein von außen zugänglicher X-Verstärker nicht eingebaut ist.

[5]) Die Unterteilung dieser Spalten bei einem Typ bedeutet, daß der Oszillograf auf Schmalband mit größerer und auf Breitband mit kleinerer Verstärkung umschaltbar ist.

Tabelle 1 (Fortsetzung)

4	5	6	7	8	9
Nord-mende	Funke	Grundig Hartmann & Braun	Elektro-Spezial	Dr. Klein	Siemens
FO 959	—	6013	GM 5650	145	Oszillarzet
DG 7—12 C	DG 7—52 A	DG 7—52 A	DG 7—32	DG 7—52 A	DG 7—36
1,0	0,8	0,6	0,5	0,65	1,0
50	46	46	—	40	12
38	39	39	—	—	18
10	2	10	10	20	10
100	70	50	250	250	300
—	—	—	ja	—	—
—	—	—	—	—	1
—	—	—	—	—	500
14 / 70	100	5,7 / 112	40 / 250	120	6 / 35
10 / 10	3	10 / 5	0 / 0	0	2 / 1
250 / 2500	3000	300 / 3000	300 / 3000	4000	600 / 5000
st/3	st/4	st/12	st/3 + 6	st/6	st/4
[5]	—	[5] [7] [8]	[5] [9]	[7] [8] [10]	[5] [7] [8]

[6]) Bei diesem Gerät sind X- und Y-Verstärker gleichartig aufgebaut.

[7]) Anschluß für Zeitablenkung fremd.

[8]) Anschluß für Helligkeitsmodulation fremd.

[9]) Frequenzbereich des Y-Verstärkers zugleich mit dem Abschwächer umschaltbar, zusätzlich Tastkopf GM 4650 (11 MΩ/7 pF) 1 : 11.

[10]) Tastspitze, Tastteiler und Tastverstärker für Schmalbandbetrieb mit hoher Verstärkung anschließbar.

Tabelle 2. Einstrahl-Oszillografen mit 100-mm-Schirm

				10	11	12	13
Firma				Elektro-Spezial	Elektro-Spezial	Elektro-Spezial	Elektro-Spezial
Typ				GM 3156	GM 5666	GM 5656	GM 5654
Braunsche Röhre			Typ	DG 10—5	DG 10—6	DG 10—74	DG 10—74
Anoden-/Nachbeschleunigungsspannung			kV	1,2/—	1,2/2,4	1,1/—	1,2/—
X-Ablenkfaktor [1]			Vss/cm	30	24	—	25
Y-Ablenkfaktor [2]			Vss/cm	25	27	—	22
Zeitablenkung	Frequenz	von	Hz	0,25	0,3	0,1	5
		bis	kHz	9	30	15	500
	Trigger		[3]	—	—	ja	ja	—
X-Verstärker	Frequenz	von	Hz	—	0	0	3
	[4]	bis	kHz	—	200	200	400
Y-Verstärker	Ablenkfaktor		mVss/cm	3	3	15 500	30
	Frequenz	von	Hz	0,1	0	1 0	1
	[5]	bis	kHz	40	50	100 200	3000
	Regelung		stetig/Stufenzahl	st/5	st/5	st/2	st/3
Bemerkungen			—	—	[6]	[7]	—

[1]) Ein Strich bedeutet, daß die X-Ablenkplatten nicht direkt, sondern nur über den eingebauten Verstärker zugänglich sind.

[2]) Ein Strich bedeutet, daß die Y-Ablenkplatten nicht direkt, sondern nur über den eingebauten Verstärker zugänglich sind.

[3]) Ein Strich bedeutet, daß ein Trigger in das Gerät nicht eingebaut ist, d. h. daß die Zeitablenkung nur periodisch in der Regel intern und extern synchronisierbar schwingt.

[4]) Striche bedeuten, daß ein von außen zugänglicher X-Verstärker nicht eingebaut ist.

[5]) Die Unterteilung dieser Spalten bei einem Typ bedeutet, daß der Oszillograf auf Schmalband mit größerer und auf Breitband mit kleinerer Verstärkung umschaltbar ist.

[6]) Eichspannungsquelle eingebaut. Bilddehnung in beiden Richtungen bis zu 10fach.

[7]) Y-Verstärker und X-Verstärker gleichartig aufgebaut, außerdem Wechselspannungs-Vorverstärker für Y-Ablenkung.

[8]) Externe Strahl-Modulation, Eingebaute Eichspannung, 30 mVss bis 30 Vss, stetig in 3 Stufen regelbar. Zeitdehnung auf das 5fache des Schirmdurchmessers.

Tabelle 2 (Fortsetzung)

14	15	16	17	18	19	20	21
Nord-mende	Grundig Hartmann & Braun	Elektro-Spezial	Elektro-Spezial	Grundig Hartmann & Braun	AEG	Elektro-Spezial	AEG
UO 960	6006	GM 5654 X	GM 5660	705a	O 14	GM 5662	O 15
DG 10—14	DG 10—54	DG 10—6	DG 10—6	DG 10—54	DG 10—54	DG 10—54	DG 10—14
1,25/2,5	1,3/3,0	1,2/—	1,1/2,3	1,2/3	1,2/2,7	1,2/2,4	2
35	28	25	—	28	31	26	—
27	13	22	25	13	13,5	12	30
10	10	5	20	15	10	10	16²/₃
100	150	500	500	400	250	600	0,1
—	ja	—	ja	ja	ja	ja	ja
10	10	3	—	10	0	0	—
150	300	400	—	700	800	200	—
14 70	70	300	280	28	50 1000	45	—
10 10	20	1	15	5	5 5	3	3
250 3000	5500	8000	10 000	10 000	1000 10 000	12 000	8
st/3	st/3	st/2	st/4	st/3	st/6	st/3	st/14
[8])	[9])	—	[10])	[11])	[12])	[13])	[14])

[9]) Verzögerung 300 ns. Welligkeit < 1 %. Externe Helligkeitssteuerung. Anschluß für Zeitablenkung fremd.

[10]) Eingebauter Impulsgenerator und Eichfrequenz-Generator, sowie Eichspannungsquelle.

[11]) Verzögerung 300 ns, Welligkeit < 1 %, Anschluß für externe Helligkeitssteuerung, Vergleichsspannung durch eingebautes Instrument.

[12]) Y-Eichung durch stetig veränderbare Eichspannung; bei der Eichung wird die Gleichspannungskomponente erfaßt, Dehnung der Zeitlinie 3fach.

[13]) Zeiteichung durch vier Eichfrequenzen, Amplitudeneichung durch Eichspannung.

[14]) Dieser Oszillograf wurde nur wegen seines Schirmdurchmessers in diese Tabelle aufgenommen. Es handelt sich um einen „Spezial"-Starkstrom-Oszillografen, dessen Zeitablenkung in Stufen mit 16²/₃, 25, 50 und 100 Hz einstellbar ist. Der Meßeingang ist potentialunabhängig mit 7 Strommeßbereichen von 0,018 bis 18 Ass und 7 Spannungsmeßbereichen von 6 bis 1800 Vss. Trotz des potentialunabhängigen Eingangs ist der Frequenzbereich des Y-Verstärkers 5 Hz bis 8 kHz. Ferner ist eine Einrichtung zur direkten Phasenwinkelmessung von 0° bis 360° eingebaut.

Tabelle 3. Einstrahl-Oszillografen mit 130-(180-)mm-Schirm

				22	23	24
Firma				Dr. Klein	Dr. Klein	Siemens
Typ				132	128	Oszillar I/5
Braunsche Röhre			Typ	DG 13—14	DG 18—14,4	DG 13—14
Anoden-/Nachbeschleunigungsspannung			kV	1,5/3	2/4	1,5/3
X-Ablenkfaktor [1]			Vss/cm	—	32	30
Y-Ablenkfaktor [2]			Vss/cm	—	28	22
Zeitablenkung	Frequenz	von	Hz	—	1	10
		bis	kHz	—	100	500
	Trigger [3]		—	—	—	ja
X-Verstärker	Frequenz	von	Hz	0	0,2	0
	[4]	bis	kHz	35	350	750
Y-Verstärker	Ablenkfaktor		mVss/cm	50	150	50
	Frequenz	von	Hz	0	0,5	1
	[5]	bis	kHz	35	1000	5000
	Regelung		stetig/ Stufenzahl	st/3	st/5	st/3
Bemerkungen				[6]	[7]	[8]

[1]) Ein Strich bedeutet, daß die X-Ablenkplatten nicht direkt, sondern nur über den eingebauten Verstärker zugänglich sind.

[2]) Ein Strich bedeutet, daß die Y-Ablenkplatten nicht direkt, sondern nur über den eingebauten Verstärker zugänglich sind.

[3]) Ein Strich bedeutet, daß ein Trigger in das Gerät nicht eingebaut ist, d. h. daß die Zeitablenkung nur periodisch in der Regel intern und extern synchronisierbar schwingt.

[4]) Striche bedeuten, daß ein von außen zugänglicher X-Verstärker nicht eingebaut ist.

[5]) Die Unterteilung dieser Spalten bei einem Typ bedeutet, daß der Oszillograf auf Schmalband mit größerer und auf Breitband mit kleinerer Verstärkung umschaltbar ist.

[6]) Spezial-Oszillograf mit zwei identischen Gleichspannungs-Verstärkern, vor allem zum Schreiben von Kennlinienscharen (Röhrenkennlinien und Transistorkennlinien). Einbau einer Zeitablenkung nur auf Wunsch.

[7]) Oszillograf für Schulen mit 180 mm Schirmdurchmesser und großer Helligkeit. Für beide Ablenkeinrichtungen sind auch Ablenkspulen zur magnetischen Ablenkung eingebaut.

[8]) In 9 Stufen zwischen 30 mVss und 100 Vss einstellbare Eichspannung, 10fache Zeitdehnung.

[9]) Y-Eichung mit 50-Hz-Trapezspannung in 4 Stufen einstellbar. 6fache Zeitdehnung. Zeiteichung durch äquidistante Dunkelpunkte in 5 Stufen.

[10]) Die AEG liefert ferner Sonder-Oszillografen, wie Zweistrahl-Stoßspannungs- und Vierstrahl-Registrier-Oszillografen, die nicht in den Tabellen untergebracht werden konnten.

[11]) Zeitmarken 0,04/0,1/1/10/100 µs Abstand, Amplitudeneichung mittels 50 - Hz - Rechteckspannung ± 5 %, Laufzeitausgleich zwischen X-Ablenkung und Y-Verstärker 0,25 µs, 6fache

Tabelle 3 (Fortsetzung)

25	26	27	28	29	30
AEG	Rohde & Schwarz	Siemens	Tektronix Rohde & Schwarz	Fernseh GMBH	Fernseh GMBH
O 10	OBF	Oszillar I/14	545 + 53/54 K	PYO—75	PCO—75
DG 13—54	DG 13—54	DG 13—54	T 54 P 2	DG 13—54	DG 13—54
2/4	2/4	1,5/3	1,5/10	3/6	3/6
24	28	30	30	4,3	4,3
10	12	10	7	1,88	1,88
10	15	10	(0,01)	5	$16^2/_3$
500	500	500	(6000)	250	15,6
ja	ja	ja	ja	ja	ja
0	0	0	0	—	—
1000	700	750	240	—	—
50	25	50	50	40	100
5	3	1	0	1	1
10 000	10 000	14 000	30 000	10 000	10 000
st/3	st/7	st/3	st/9	st/3	st/2
[9] [10]	[11]	[8]	[12] [13]	[14] [15]	[14] [16]

Dehnung der Zeitachse, getriggerte Videosynchronisierung mit Amplitudensieb und Integrationsglied.

[12]) Die Zeitlinienlänge wurde mit 80 mm angenommen und die Frequenzen aus den angegebenen „Schreibgeschwindigkeiten" von 10 s/cm bis 0,02 µs/cm errechnet, um einen Anhalt für den Vergleich mit den anderen Geräten zu geben. In Zukunft ist zu erwarten, daß diese Werte nur noch in dieser Form angegeben werden, wobei der Ausdruck „Schreibgeschwindigkeit" noch revidiert werden muß, da er etwas anderes, nämlich den höchsterreichbaren Wert für die Registrierung, bedeutet.

[13]) Amplitudeneichung ± 3 % mit Rechteckspannung von 1000 Hz, Laufzeitausgleich mit Kette 0,2 µs, bis 5fache Zeitdehnung, definiert vergrößerungsfähiger Kippeinsatz.

[14]) Bei diesen beiden Geräten handelt es sich um spezielle Ausführungen für Fernseh-Entwicklung.

[15]) Ablenkdauer (identisch mit Kippfrequenz) 0,01 s/cm bis 0,1 µs/cm. Beim Y-Verstärker Anstiegszeit kleiner 4.10^{-8} s. Überschwingen kleiner 1 %, Dachschräge bei symmetrischen 50-Hz-Rechteckimpuls kleiner 1 %. Kipplupe (Zeitdehnung) 1 : 3 und 1 : 10, Zeilenwähler, Vertikalschnittwähler.

[16]) Zeitablenkung einstellbar:
$16^2/_3$ Hz / 5.10^{-8} s/cm, 5,2 kHz / $16{,}5.10^{-6}$ s/cm
25 Hz / 6.10^{-6}...220.10^{-6} s/cm (line selection) 15,6 kHz / $0{,}25.10^{-6}$...$1{,}7.10^{-6}$ s/cm (H-Lupe)
Anstiegszeit des Y-Verstärkers kleiner 4.10^{-8}, Überschwingen kleiner 1 %. Das Gerät wird sowohl für 625-Zeilen- als auch für 819-Zeilen-Norm geliefert. Es bildet zusammen mit dem Video-Prüfsignal-Generator PGM 75 einen Prüfsatz für genormte Meßverfahren.

Tabelle 4. Zweistrahl-Oszillografen mit 130-(160-)mm-Schirm

		31	32	33	34	35
Firma		Siemens	Dr. Klein	Dr. Klein	Dr. Klein	Dr. Klein
Typ		Oscillar II	211	218	216	214
Braunsche Röhre	Typ	DGM 13—14	DGM 16—12	DGM 16—12	DGM 16—12	DGM 16—12
Anoden-/Nachbeschleunigungs-Spannung	kV	2/4	2/—	2/—	2/—	2/—
X-Ablenkfaktor	Vss/cm	31	28	28	28	28
Y-Ablenkfaktor	Vss/cm	22	28	28	28	28
Zeitablenkung: Frequenz von	Hz	1,3	1,5	2	2	20
Zeitablenkung: bis	kHz	500	10	10	10	250
Zeitablenkung: Trigger [1]	—	ja	—	—	—	—
X-Verstärker: Frequenz von	Hz	0	0,1	—	—	5
X-Verstärker: [2] bis	kHz	600	50	—	—	750
Y-Verstärker: Ablenkfaktor	mVss/cm	5 12,5	—	28	0,14	28
Y-Verstärker: Frequenz von	Hz	0 2	—	2	2	2
Y-Verstärker: bis	kHz	200 2500	—	50	50	6000
Y-Verstärker: Regelung	stetig/ Stufenzahl	st/4	—	st/7	st/3	st/4
Bemerkungen		[3]	[4] [5]	[4]	[4] [6]	[4] [7]

[1]) Ein Strich bedeutet, daß kein Trigger eingebaut ist.

[2]) Striche bedeuten, daß kein X-Verstärker von außen verwendbar ist.

[3]) Das Gerät ist mit auswechselbaren Y-Verstärkern ausgerüstet, und zwar einem Gleichspannungs- bzw. einem Wechselspannungsverstärker entsprechend den jeweils zwei angegebenen Werten beim Y-Verstärker.

[4]) Diese Geräte werden auf die neue Telefunken-Zweistrahl-Röhre DGM 13—14 mit Nachbeschleunigung und Planschirm umgestellt.

[5]) Spezial-Sichtgerät für Multirecorder, ohne eingebaute Y-Verstärker.

[6]) Verstärkungsfaktor für den Y-Verstärker 200 000fach, insbesondere für Feldstärkemessungen hinter Tastrichter zu verwenden.

[7]) Zweistrahl-Breitband-Oszillograf.

II. Oszillografenröhren und Kippröhren

1. Oszillografenröhren

In den nachstehenden Tabellen bringen wir zunächst die Daten der früher auf dem Markt befindlichen wichtigsten Katodenstrahlröhren, da sich viele Exemplare noch in öffentlichem und privatem Besitz befinden. Oft fehlen die erforderlichen Daten, so daß die Röhren deshalb nicht benützt werden können. Während des Krieges sind zahlreiche Röhren für kommerzielle Zwecke hergestellt worden, die von verschiedenen deutschen Firmen stammen. Wir geben daher auch von diesen Röhren die Daten bekannt.

In Tabelle 5 sind die Daten der älteren AEG-Röhren zusammengestellt. Die zugehörigen Sockelschaltungen bietet Bild 164. Die älteren Röhren der Firma Loewe-Radio (Opta) enthält Tabelle 6; die neueren Ausführungen finden sich in Tabelle 7. Bild 165 enthält die zugehörigen Sockelschaltungen. Die wichtigsten Siemens-Röhren sind in Tabelle 8 zusammengefaßt, während in Bild 166 die zugehörigen Sockelschaltungen dargestellt sind.

Tabelle 5. Daten der AEG-Röhren (nach Monn, Taschenbuch für Rundfunktechniker)

Typ	Schirm-Ø mm	Platten-paare	Ablenkung sym	Ablenkung un-sym.	Heizg. U_h V	Heizg. I_h A	U_a kV	U_L etwa V	U_S V	U_g V	Ablenkempfindlichkeit Meßpl. mm/V	Ablenkempfindlichkeit Zeitpl. mm/V	Sockelschaltung
AEG													
HRP 1/48/2	48	2	ja	nein	4	1	2	500	350	—75	0,11	0,09	1
HR 1/60/0,5	60	2	ja	nein	4	1	0,5	150	—	—50	0,23	0,15	2
HR 1/70/2	70	2	ja	nein	12,6	0,27	2	230	—	—80	0,09	0,06	3
HR 1/100/1,5	100	2	ja	ja	4	1	1,5	450	300	—70	0,24	0,21	1
HR 1/100/1,5/6[3])	100	2	ja	ja	4	1	1,5	450	300	—70	0,14	0,13	1
HR 2/100/1,5[3])	100	je 2	ja	nein	4	1	1,5	500	300	—70	0,26	0,26	4
HR 2/100/1,5/6	100	je 2	ja	nein	4	1	1,5	500	300	—70	0,15	0,13	4
HR 2/160/1,5/6	160	je 2	ja	nein	4	1	1,5	450	300	—70	0,25	0,23	5
HR 1/130/1,5	130	2	ja	ja	4	1	1,5	500	550	-100	0,5	0,45	—

U_a = Anodenspannungen, U_L = Linsenspannung, U_S = Schirmgitterspannung, U_g = Wehneltzylinderspannung. Sockelschaltung s. Bild 164.

Tabelle 6 **Daten älterer Loewe-Röhren**

Technische Daten	KSH 18/1	KSH 18/2	KSH 20/1	KSH 20/2
Heizspannung Volt	4	4	4	4
Heizstrom Ampere	0,4	0,8	0,4	0,8
Anodenspannung Volt	1000...3000	1000...3000	1000...3000	1000...3000
Strichschärfe mm	ca. 0,8	ca. 0,8	ca. 0,8	ca. 0,8
Empfindlichkeit bei 1500 Volt Anodenspannung V/mm	ca. 1,5	ca. 1,9	ca. 1,5	ca. 1,9
Maximale Ablenkspannung Volt	500	500	500	500
Max. Lichtsteuerspannung hell-dunkel Volt	ca. 15	ca. 15	ca. 15	ca. 15
Maximal zulässiger Steuerbereich der Gitterspannung gegen Katode Volt	± 15	± 15	± 15	± 15
Schirmdurchmesser mm	180	180	200	200
Größte Länge mm	470	470	490	490

Tabelle 7 **Daten der neueren Loewe-Röhren**

Typ	Schirm-Ø cm	Art	Empf. (1 kV) mm/V senkr.	Empf. (1 kV) mm/V waagr.	U_h V	J_h A	U_a kV	U_L V	Schirmfarbe	Sockel Bild 165
E 118/1	18	Gas	0,8	0,7	4	0,7	1...3	$^1/_2$ N_a	grün oder blau	a, k
E 112/1	18	Gas	0,5	0,4	4	0,7	1...3	$^1/_3$ N_a	grün oder blau	a, k
E 218/1	18 Zweistrahl	Gas	0,8	0,7	4	1,4	1...3	$^1/_3$ N_a	grün oder blau	n
E 212/1	12 Zweistrahl	Gas	0,5	0,4	4	1,4	—	—	— —	n
H 118/1	12	vac.	0,7	0,05	4	0,7	1...5	$^1/_5$... $^1/_{10}$ N_a	grün oder blau	b, f
H 112/1	12	vac.	0,4	0,3	4	0,7	—	—	— —	b, f
H 218/1	+180 Zweistrahl	vac.	0,7	0,65	4	1,5	1...5	$^1/_5$... $^1/_{10}$ N_a	grün oder blau	c, g
H 212/1	12	vac.	1,4	0,3	—	—	—	—	grün oder blau	c, g
HM 6/1	6	vac.	0,45	—	4	0,7	1...3	$^1/_5$... $^1/_2$ N_a	grün oder blau	d, h
HM 6/2	6	vac.	0,45	0,23	4	0,7	1...3	$^1/_5$... $^1/_2$ N_a	grün oder blau	e, i
K 3/1, K 5/1, K 7/1	3, 5, 7	vac.	0,16... 0,25	—	6,3	0,6	0,3.. 1	$^1/_5$... $^1/_2$ N_a	grün	l l l
K 3/8, K 5/3, K 7/3	3, 5, 7	vac.	0,12... 0,23	—	6,3	0,6	0,3.. 1	$^1/_5$... $^1/_2$ N_a	grün	m m n

U_h = Heizspannung, I_h = Heizstrom, U_a = Anodenspannung, U_L = Linsenspannung.

Tabelle 8
Die Daten der wichtigsten Siemens-Röhren

Typ	Schirm-Φ cm	Art	Empf. (1 kV) mm/V senkrecht	Empf. (1 kV) mm/V waagerecht	J_h A	U_h V	U_a kV	U_L V	$-U_w$ V	Schirmfarbe	Sockel Bild 166
E 113	13	vac.	0,4	0,32	0,7	4	1—4	1/5 N_a	50	weißblau	1
E 118	18	vac.	0,72	0,54	0,7	4	1—4	1/5 N_a	50	weißblau	2
Z 110	Zweistr 10	vac.	0,37	0,3	1,4	4	0,5—2	1/5 N_a	50	weißblau	3
Z 118	Zweistr 18	vac.	0,72	0,64	1,4	4	1—4	1/5 N_a	50	weißblau	4
E 207	7,5	vac.	0,4	0,2	0,7	4	0,5—3	1/5 N_a	50	weißblau	5
E 104	7,5	vac.	0,5	0,37	0,7	4	1,5	1/5 N_a	50	weißblau	6

I_h = Heizstrom, U_h = Heizspannung, U_a = Anodenspannung, U_L = Linsenspannung, $-U_w$ = Wehneltzylinderspannung.

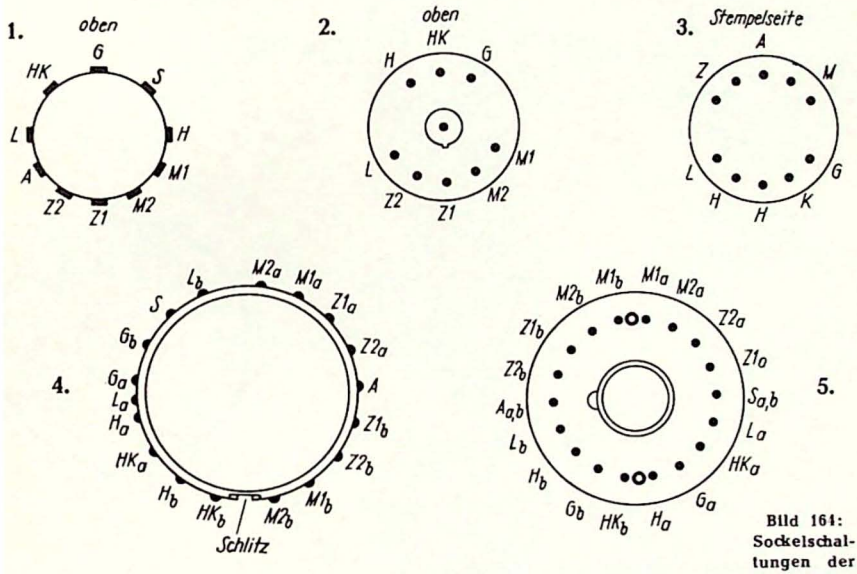


Bild 164: Sockelschaltungen der AEG-Röhren

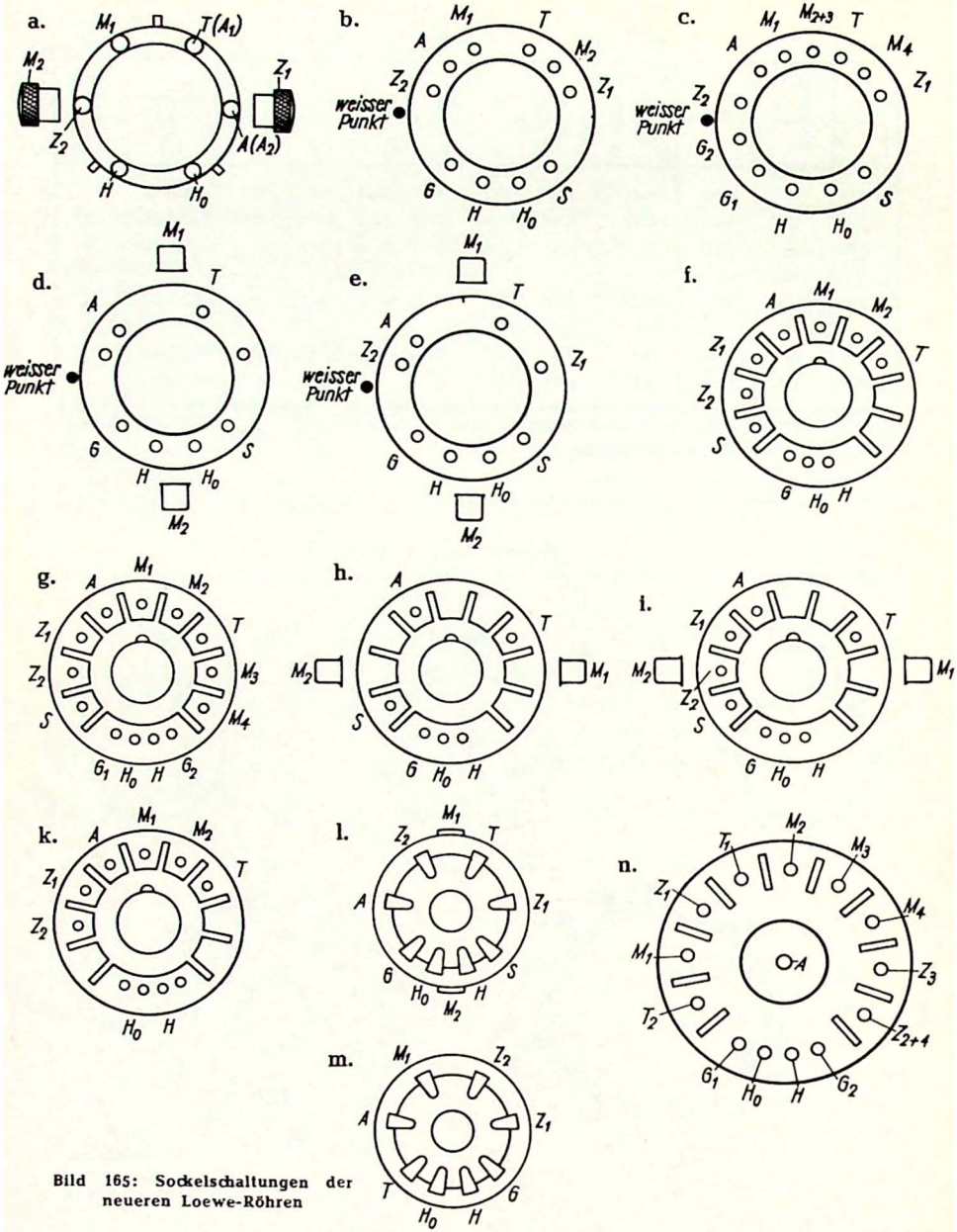


Bild 165: Sockelschaltungen der neueren Loewe-Röhren

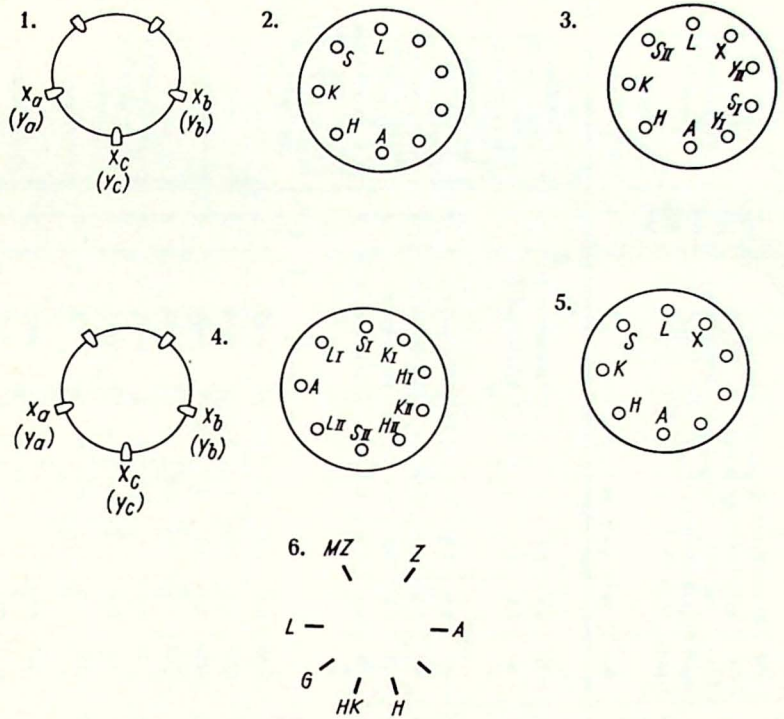


Bild 166: Sockelschaltungen der wichtigsten Siemens-Röhren

Die Oszillografenröhren der Fa. Gundelach finden sich in Tabelle 9. Die Sockelschaltungen sind in Bild 167 zusammengestellt.

Tabelle 10 stellt die Röhren der früheren Fa. Leybold und von Ardenne zusammen, die sich ebenfalls noch in vielen Händen befinden. Sockelschaltungen hierfür waren leider nicht ausfindig zu machen.

Die Tabelle 11 enthält die älteren Oszillografenröhren der Philips-Gesellschaft. In Bild 168 sind die Sockelschaltungen zusammengestellt.

Schließlich bringen wir in Tabelle 12 die Daten der wichtigsten kommerziellen Röhren, die speziell im Krieg für Navigationszwecke gebaut wurden.

Diese Röhren sind heute noch in größerer Zahl aus Beständen der früheren deutschen Wehrmacht erhältlich und für normale Meßzwecke verschiedentlich sehr gut brauchbar, z. B. die oft verwandte LB 8 (LB 1).

Tabelle 9. Gundelach-Röhren für Oszillografie und Fernsehen

Typ	Schirm-Ø mm	Zahl der Ablenk-Platten-Paare	Heiz-daten Volt	Heiz-daten Amp.	Anodenspannungen in Volt A 1 Bo-schleu-ni-gungs-anode	Anodenspannungen in Volt A 2 Linse	Anodenspannungen in Volt A 3 Haupt-anode	Wehnelt-Vorspannung Volt	Ablenkempfindlichkeit mm/Volt bei 2000 Volt A 3 Px	Ablenkempfindlichkeit mm/Volt bei 2000 Volt A 3 Py	Kapazität des Ablenksystems pF Px	Kapazität des Ablenksystems pF Py	Fluoreszenzlicht	Sockelschaltung Bild 167	Verwendungszweck für
Hochvakuum für **Oszillografie**															
KH 207	70	2	2	1,0	—	200	800	—25	0,2	0,1	4	3	bläulich-weiß	1	Tragbare Oszillografen Bastler-Fernsehversuche
KH 209	90	2	2	1,0	—	250	1000	—30	0,2	0,1	4	3	bläulich-weiß	1	
KH 213	130	2	2	1,0	—	375	1500	—50	0,3	0,2	< 5	< 3,5	bläulich-weiß	1	Oszillografie in Laboratorien, Schulen und Industrie, sowie als Bastler-Fernsehröhre.
KH 118	180	1	2	1,0	—	500	2000	—60	0,3	—	< 3,5	—	bläulich-weiß	2	
KH 218	180	2	2	1,0	—	500	2000	—60	0,3	0,2	< 5	< 3,5	bläulich-weiß	1	
KP 218	180	2	2	1,0	—	500	2000	—60	0,3	0,2	5	3,5	bläulich-weiß	1	Wie oben! Diese Röhre kann aber auch unsymmetrisch angeschlossen werden.
Hochvakuum für **Fernsehen**															
KF 218	180	2	2	1,0	100	750	3000	—100	0,3	0,2	5	3,5	weiß	3	für Fernsehen im praktischen Betrieb.
KF 225	250	2	2	1,0	130	1000	4000	—120	0,3	0,2	5	3,5	weiß	3	
KF 230	300	2	2	1,0	130	1000	4000	—120	0,3	0,2	5	3,5	weiß	3	
KF 118	180	1	2	1,0	100	750	3000	—100	0,3	—	3,5	—	weiß	4	
KF 125	250	1	2	1,0	130	1000	4000	—120	0,3	—	3,5	—	weiß	4	
KF 130	300	1	2	1,0	130	1000	4000	—120	0,3	—	3,5	—	weiß	4	
KF 018	180	rein magnet. Ablenk.	2	1,0	100	750	3000	—100	—	—	—	—	weiß	5	
KF 025	250	do.	2	1,0	130	1000	4000	—120	—	—	—	—	weiß	5	
KF 030	300	do.		1,0	130	1000	4000	—120	—	—	—	–	weiß	5	

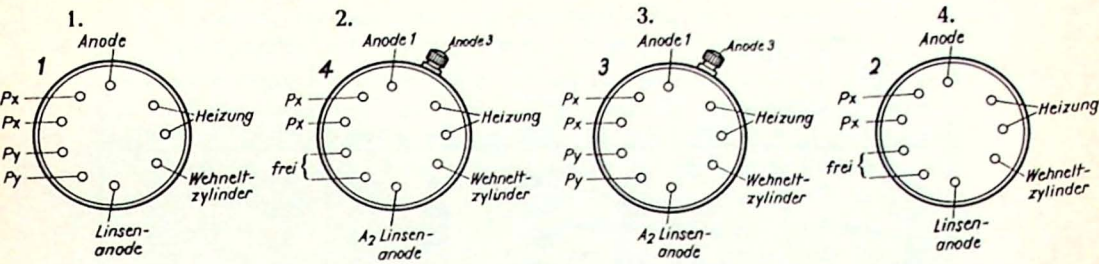
Tabelle 10
Daten der Röhren von Leybold und v. Ardenne

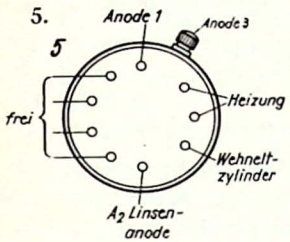
Typenbezeichnung	Systemart†)	Anodenspannungsbereich in Volt	Ablenkempfindlichkeit in mm/V	Zahl der Ablenkplatten	Kapazität zwischen den Ablenkplattenanschlüssen	Schirmfarbe	Schirmdurchmesser in cm	Halsdurchmesser in cm	Länge in cm	Anwendungen
Af 30/2	StH	3000...7500	0,85	2	4,6 pF	Weiß	30	5,0	58	Normale Fernsehröhre
Af 30/4	StH	3000...7500	0,85	4	4,6 pF	Weiß	30	6,0	63	Fernsehversuche und Kurvendemonstrationen
Av 18/4	StH	2000...7500	0,55	4*)	1,4 pF	Blau	18	6,0	53	Norm. Röhre für Hoch- und Niederfrequenzmessung
Av 13/4	StH	2000...4000	0,34	4	3,8 pF	Blau	13	6,0	43	Röhre der tragb. Oszillografen TO 1
Av 10/4	StH	2000...3000	0,20	4	3,8 pF	Weiß	10	6,0	35	Röhre der tragb. Oszillografen TO 21
Ag 18/4	StG	800...4000	0,90	4	4,0 pF	Blau	18	6,0	50	Röhre für große fotogr. Schreibgeschwindigkeit
Ag 13/4	StG	800...4000	0,60	4	4,0 pF	Blau	13	6,0	43	Röhre des tragb. Oszillografen TO 1
Ag 10/4	StG	800...4000	0,40	4	3,5 pF	Weiß	10	6,0	35	Röhre des tragb. Oszillografen TO 21
Ag 10/4 (50)	HG	600...2000	0,35	4	3,5 pF	Weiß	10	5,0	32	Röhre des tragb. Oszillografen TO 22 und Röhre für Meßgestelle
Ag 10/3	NG	400...1000	0,80	2**)	7,0 pF	Blau	10	5,0	35	Niedervoltröhre m. Korrekt. d. Nullpunktfehlers
Av 18/d	StH	3000...4000	0,70	6***)	1,5 pF b. Meßpl. 3,6 pF b. Zeitpl.	Blau	18	7,0	54	Röhre zur Aufzeichng. v. zwei Vorgängen

†) StH = Standard-Hochvakuum; StG = Standard-Gas; HG = Hochvolt-Gas; NG = Niedervolt-Gas
*) seitlich ausgeführt
**) mit 3. Platte zur Nullfehlerkorrektur
***) 4 Meßplatten seitlich ausgeführt

Tabelle 11. Daten der älteren Philips- (Valvo-) Röhren

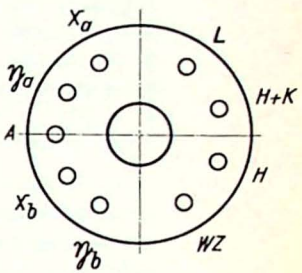
Sockel Bild 168		1	2/3	2/3	4	4	4	4	5	5
Typenbezeichnung		DG 3-2	DG 7-2 DB 7-2	DN 7-2	DG 9-3 DB 9-3	DN 9-3	DG 9-4 DB 9-4	DN 9-4	DG 16-2 DB 16-2	DN 16-2
Größter Schirmdurchmesser . . . d	mm	38	75	75	100	100	100	100	167	167
Größte Länge (ohne Stifte) l	mm	125	165	165	327	327	327	327	450	450
Spannung . . . . . U_f	V	6,3	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	4,0	4,0	4,0
Heizung (indirekt)										
Strom . . . . . J_f	A	0,65	1	1	1	1	1	1	1	1
Betriebsspannungen an der										
2. Anode . . . . . U_{a2}	V	500—800	800	800	1000	1000	1000	1000	2000	2000
1. Anode . . . . . U_{a1}[1])	V	ca. 150—200	150...350	150...350	200...400	200...400	ca. 400	ca. 400	350...500	350...500
am Gitter max. . . . . U_g[1])	V	—25...—35	—30	—30	—40	—40	—40	—40	—40	—40
Empfindlichkeit										
N_1[4])	mm/V	0,09...0,06	0,22	0,22	0,4	0,4	0,4	0,4	0,25	0,25
N_2[5])	mm/V	0,06...0,04	0,14	0,14	0,31	0,31	0,31	0,31	0,17	0,17
Kapazität										
des Gitters . . . . . C_g[7])	pF	6,5	7	7	7	7	7	7	7,3	7,3
der Ablenkplatten C_1[4])	pF	1,5	3	3	4,5	4,5	4,5	4,5	6	6
C_2[5])	pF	1,0[3])	4[4])	4[4])	5,5[5])	5,5[5])	5,5	5,5	7	7





Links und oben Bild 167 Sockelschaltungen der Gundelach-Röhren

Rechts Bild 169: Sockelschaltung der Röhren der Fernseh-G.m.b.H.



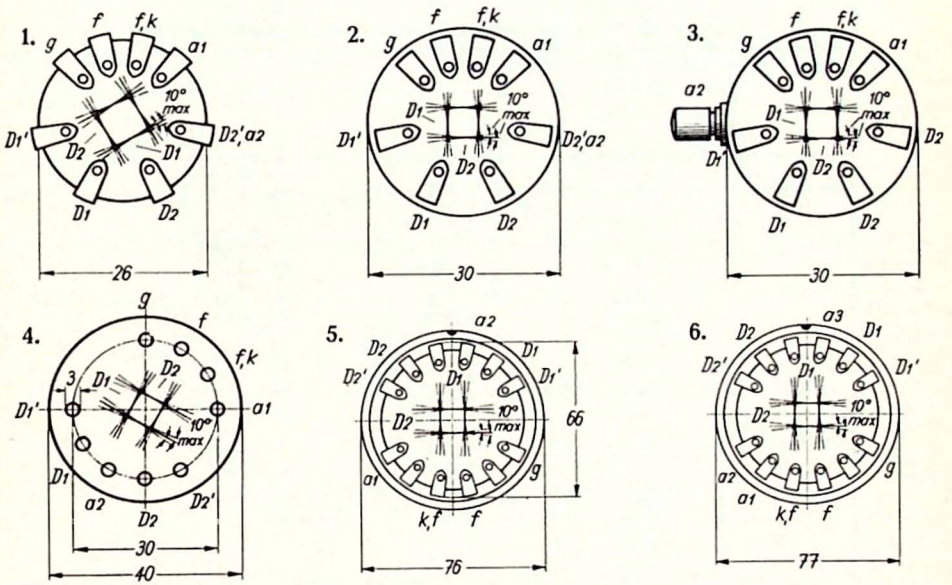


Bild 168: Sockelschaltungen der älteren Philips- (Valvo-) Röhren
(Fig. 6: Sockelschaltung der DG 25-1)

Tabelle 12. Daten der wichtigsten kommerziellen Katodenstrahlröhren

Typ	Schirmdurchmesser cm	Heizung Volt	Heizung Amp.	U_a max Volt	U_L Volt	U_W Volt	E_1 mm/V	E_2 mm/V
LB 1	7	12,6	0,27	2000	250	—50	0,077	0,05
LB 2	7	12,6	0,27	2000	300	—40	0,08	0,08
LB 7/15	7	4	1	2000	500	—80	0,07	0,05
LB 8	7	12,6	0,27	2000	200	—40	0,1	0,08
LB 13/40	13	4	1	4000	1100	—100	0,12	0,12
RK 12 SS 1	—	12,6	—	470	—	—35	0,28	—
RK 12 SS 2	—	12,6	—	225	—	—33	0,065	—

Die Fernseh-G. m. b. H. hatte seinerzeit ausgezeichnete Katodenstrahlröhren herausgebracht, deren Daten in der nachstehenden Tabelle 13 zu finden sind. Die Röhren haben trotz der großen Ablenkempfindlichkeit erstaunlich kurze Rohrlängen und zeichnen sich durch sehr gute Fleckschärfe und Helligkeit aus.

Tabelle 13. Daten der Oszillografen-Röhren der Fernseh-G.m.b.H.*)

Typ	Schirmdurchmesser cm	Schirmfarbe	J_h A	U_h V	U_a V	U_1 V	U_w V	E_1 mm/V	E_2 mm/V	Sockel-Schaltb. Abb.
Bs 16/1 b	16	blau	0,16	12,6	750... 2000	¼ U_a	—20... —80	0,6	0,9	169
Bs 16/1 g	16	grün	0,16	12,6	750... 2000	¼ U_a	—20... —80	0,6	0,9	169
Bs 16/1 bg	16	blau, grün nachleucht.	0,16	12,6	750... 2000	¼ U_a	—20... —80	0,6	0,9	169
Bs 10/1 b	10	blau	0,16	12,6	750... 2000	¼ U_a	—20... —80	0,35	0,6	169
Bs 10/1 g	10	grün	0,16	12,6	750... 2000	¼ U_a	—20... —80	0,35	0,6	169
Bs 10/bg	10	blau, grün, nach-leucht.	0,16	12,6	750... 2000	¼ U_a	—20... —80	0,35	0,6	169

*) Es wurden auch Röhren mit 7 cm Schirmdurchmesser hergestellt, ferner solche mit 6,3 V Heizung (400 mA Heizstrom).

Die Entwicklung der Nachkriegszeit hat zu einer Standardisierung der Typenbezeichnung von Oszillografenröhren geführt. In Deutschland sind zur Zeit die Katodenstrahlröhren der Firmen Telefunken und Valvo auf dem Markt. Tabelle 14 enthält eine Liste der lieferbaren Telefunken-Katodenstrahlröhren mit genauen Daten, während sich Tabelle 15 auf die entsprechenden Valvo-Röhren bezieht. Neu herausgekommen sind ferner von Telefunken die beiden Typen DG 13—58 und DG 13—18. Der erste Typ ist für Breitband-Oszillografen, der zweite für Impulsreflexionsmessungen bestimmt. Beide Typen haben Nachbeschleunigung und besitzen eine große Ablenkempfindlichkeit.

Von Valvo ist weiterhin die DG 13—32 erschienen, die dem USA-Typ 5 UP 1 entspricht und für Anzeige- und Demonstrationszwecke bestimmt ist. Die Röhre arbeitet ohne Nachbeschleunigung und hat eine große Empfindlichkeit.

Von den neuen Telefunken- und Valvo-Röhren gibt es z. Z. nur vorläufige Daten, auf deren Wiedergabe wir verzichten wollen.

Aus Tabelle 16 ergibt sich der Schlüssel für die Bezeichnung der neuen Katodenstrahlröhren. Wie man sieht, lassen sich aus den Buchstaben und Ziffern bereits Rückschlüsse auf wichtige Röhrendaten ziehen.

Es ist zu begrüßen, daß sich die beiden Lieferfirmen zu einer einheitlichen Bezeichnung entschlossen haben. Verwechslungen wird dadurch vorgebeugt, und die Übersicht ist wesentlich leichter als bei den unterschiedlichen Typenbezeichnungen der älteren Konstruktionen.

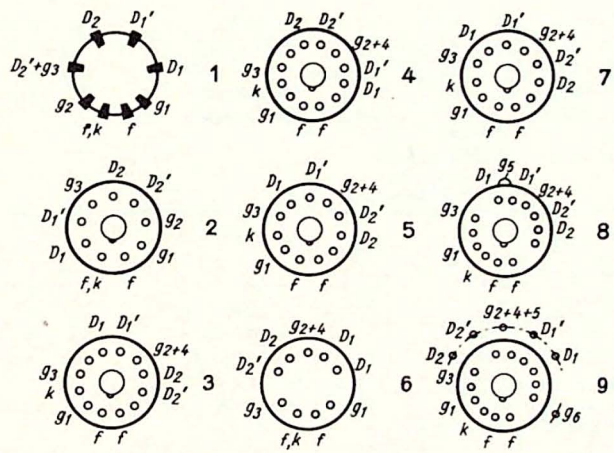


Bild 170: Sockelschaltungen der neuen Valvo-Röhren
(Daten siehe Tabelle 15 auf Seite 190 und 191)

Tabelle 14
Daten der Telefunken-Katodenstrahlröhren

Type, Anwendung	Zubehör	Heizung	Betriebswerte	Grenzwerte
DB 7-12 C **DG 7-12 C** **DN 7-12 C** **DP 7-12 C** geeignet für symmetrische od. asymmetrische Ablenkung, Planschirm	Fassung: Lg.-Nr. 30 223 Abschirmzylinder: Lg.-Nr. 30 311	U_f = 6,3 V I_f ca. 300 mA I_f = 300 mA U_f ca. 6,3 V indirekt geheizt Schirm-⌀ = 75 mm	U_a = 2000 V U_{g3} = 200 V $U_{g1sperr}$ = —100...—40 V AE_{pk} = 0,11 mm/V AE_{ps} = 0,09 mm/V	U_a = 700...3000 V U_{g3} = 1500 V U_{g1} = —250...0 V R_p = 3 MΩ
DB 7-14 **DG 7-14** **DN 7-14** **DP 7-14** geeignet für symmetrische od. asymmetrische Ablenkung, Planschirm	Fassung: Lg.-Nr. 30 223 Abschirmzylinder: Lg.-Nr. 30 381 Nachbeschleunigungsanschluß: Lg.-Nr. 30 317	U_f = 6,3 V I_f ca. 300 mA I_f = 300 mA U_f ca. 6,3 V indirekt geheizt Schirm-⌀ = 77 mm	U_{a1} = 2 kV U_{a2} = 4 kV U_{g3} = 400...700 V $U_{g1sperr}$ = —45...—75 V AE_{pk} ca. 0,18 mm/V AE_{ps} ca. 0,14 mm/V AE_{pk} ca. 0,21 mm/V, AE_{ps} ca. 0,17 mm/V } U_{a2} = U_{a1}	U_{a1} = 3 kV U_{a2} = U_{a1}...3 U_{a1}*) U_{g3} = 1500 V U_{g1} = —250...0 V R_p = 5 MΩ *) max. 6 kV
DG 7-52 A geeignet für symmetrische od. asymmetrische Ablenkung, Planschirm	Fassung: Lg.-Nr. 30 228 Abschirmzylinder: Lg.-Nr. 30 311	U_f = 6,3 V I_f ca. 300 mA I_f = 300 mA U_f ca. 6,3 V indirekt geheizt Schirm-⌀ = 75 mm	U_a = 800 V U_{g3} = 25...125 V $U_{g1sperr}$ = —40...—100 V AE_{pk} ca. 0,45 mm/V AE_{ps} ca. 0,2 mm/V	U_a = 600...1000 V U_{g3} = 500 V U_{g1} = —250...0 V R_p = 3 MΩ
DB 10-14 **DG 10-14** **DN 10-14** **DP 10-14** Einstrahl-Oszillografenröhre für symmetrische Ablenkung, Planschirm	Fassung: Lg.-Nr. 30 223 Nachbeschleunigungs-Anschluß: Lg.-Nr. 30 317 Abschirmzylinder: Lg.-Nr. 30 312	U_f = 6,3 V I_f ca. 300 mA I_f = 300 mA U_f ca. 6,3 V indirekt geheizt Schirm-⌀ = 100 mm	U_{a1} = 2000 V U_{a2} = 4000 V U_{g3} = 550 V $U_{g1sperr}$ = —100...—40 V AE_{pk} = 0,28 mm/V AE_{ps} = 0,21 mm/V AE_{pk} = 0,33 mm/V, AE_{ps} = 0,26 mm/V } U_{a2} = U_{a1}	U_{a1} = 1000...3000 V U_{a2} = U_{a1}...2 U_{a1} U_{g3} = 1500 V U_{g1} = —250...0 V R_p = 3 MΩ

Tabelle 14 (Fortsetzung)

Type, Anwendung	Zubehör	Heizung	Betriebswerte	Grenzwerte
DB 10-54 **DG 10-54** **DN 10-54** **DP 10-54** Einstrahl-Oszillografenröhre mit hoher Ablenkempfindlichkeit, Planschirm	Fassung: Lg.-Nr. 30 223 Nachbeschleunigungs-Anschluß: Lg.-Nr. 30 317 Abschirmzylinder: Lg.-Nr. 30 312	U_f = 6,3 V I_f ca. 300 mA I_f = 300 mA U_f ca. 6,3 V indirekt geheizt Schirm-ϕ = 100 mm	U_{a1} = 2000 V U_{a2} = 4000 V U_{g3} = 550 V $U_{g1sperr}$ = —100...—40 V AE_{pk} = 0,46 mm/V AE_{ps} = 0,22 mm/V AE_{pk} = 0,55 mm/V, AE_{ps} = 0,26 mm/V } U_{a2} = U_{a1}	U_{a1} = 1000...3000 V U_{a2} = U_{a1}...2 U_{a1} U_{g3} = 1500 V U_{g1} = —250...0 V R_p = 3 MΩ
DB 13-14 **DG 13-14** **DN 13-14** **DP 13-14** Einstrahl-Oszillografenröhre mit Planschirm	Fassung: Lg.-Nr. 30 223 Nachbeschleunigungs-Anschluß: Lg.-Nr. 30 317 Abschirmzylinder: Lg.-Nr. 30 313	U_f = 6,3 V I_f ca. 300 mA I_f = 300 mA U_f ca. 6,3 V indirekt geheizt Schirm-ϕ = 134 mm	U_{a1} = 2000 V U_{a2} = 4000 V U_{g3} = 550 V $U_{g1sperr}$ = —100...—40 V AE_{pk} = 0,34 mm/V AE_{ps} = 0,29 mm/V AE_{pk} = 0,4 mm/V, AE_{ps} = 0,35 mm/V } U_{a2} = U_{a1}	U_{a1} = 1000...3000 V U_{a2} = U_{a1}...2 U_{a1} U_{g3} = 1500 V U_{g1} = —250...0 V R_p = 3 MΩ
DB 13-54 **DG 13-54** **DN 13-54** **DP 13-54** Einstrahl-Oszillografenröhre mit besonders hoher Ablenkempfindlichkeit, geringer Plattenkapazität für Breitband-Oszillografen, Planschirm	Fassung: Lg.-Nr. 30 223 Nachbeschleunigungs-Anschluß: Lg.-Nr. 30 317 Abschirmzylinder: Lg.-Nr. 30 337 Ablenkplatten-Anschlüsse: Lg.-Nr. 30 341	U_f = 6,3 V I_f ca. 300 mA I_f = 300 mA U_f ca. 6,3 V indirekt geheizt Schirm-ϕ = 134 mm	U_{a1} = 2000 V U_{a2} = 4000 V U_{g3} = 530 V $U_{g1sperr}$ = —90...—30 V AE_{pk} = 0,8 mm/V AE_{ps} = 0,35 mm/V AE_{pk} = 1,0 mm/V, AE_{ps} = 0,45 mm/V } U_{a2} = U_{a1}	U_{a1} = 2000...4000 V U_{a2} = U_{a1}...2 U_{a1} U_{g3} = 2000 V U_{g1} = —250...0 V R_p = 5 MΩ

Tabelle 14 (Fortsetzung)

Type, Anwendung	Zubehör	Heizung	Betriebswerte	Grenzwerte
DB 18-14 **DG 18-14** **DN 18-14** **DP 18-14** Einstrahl-Oszillografenröhre, als Übersichtsröhre geeignet, Schirmkalotte aufgeschmolzen	Fassung: Lg.-Nr. 30 223 Nachbeschleunigungs-Anschluß: Lg.-Nr. 30 317 Abschirmzylinder: Lg.-Nr. 30 314	U_f = 6,3 V I_f ca. 300 mA I_f = 300 mA U_f ca. 6,3 V indirekt geheizt Schirm-Ø = 180 mm	U_{a1} = 2000 V U_{a2} = 4000 V U_{g3} = 550 V $U_{g1sperr}$ = —100...—40 V AE_{pk} = 0,31 mm/V AE_{ps} = 0,27 mm/V AE_{pk} = 0,36 mm/V | U_{a2} AE_{ps} = 0,33 mm/V | = U_{a1}	U_{a1} = 1000...3000 V U_{a2} = U_{a1}...2 U_{a1} U_{g3} = 1500 V U_{g1} = —250...0 V R_p = 3 MΩ
DB 13-12 Einstrahl-Oszillografenröhre zur Aufnahme schnell verlaufender einmaliger Vorgänge, Schreibgeschwindigkeit ca. 500 km/sec	Fassung: Lg.-Nr. 30 215	U_f = 4 V I_f ca. 500 mA indirekt geheizt Schirm-Ø = 130 mm	U_a = 8000 V U_{g3} = 2200 V U_{g2} = 650 V $U_{g1sperr}$ = —100...—60 V AE_{pk} = 0,12 mm/V AE_{ps} = 0,1 mm/V	U_a = 2000...8000 V U_{g3} = 2800 V U_{g2} = 500...700 V U_{g1} = —150...0 V R_p = 3 MΩ
DBM 10-12 **DGM 10-12** **DNM 10-12** **DPM 10-12** Zweistrahl-Oszillografenröhre mit Planschirm	Fassung: Lg.-Nr. 30 221 Abschirmzylinder: Lg.-Nr. 30 315	je System U_f = 4 V I_f ca. 500 mA indirekt geheizt Schirm-Ø = 100 mm	System I = System II U_a = 1500 V U_{g3} = 420 V U_{g2} = 320 V $U_{g1sperr}$ = —70...—15 V AE_{pk} = 0,23 mm/V AE_{ps} = 0,21 mm/V	System I = System II U_a = 1000...2000 V U_{g3} = 700 V U_{g2} = 250...400 V U_{g1} = —150...0 V R_p = 3 MΩ
DBM 10-14 **DGM 10-14** **DNM 10-14** **DPM 10-14** Zweistrahl-Oszillografenröhre für Nachbeschleunigungsspannungen bis 7,5 kV, Planschirm	Fassung: Lg.-Nr. 30 221 Abschirmzylinder: Lg.-Nr. 30 315	je System U_f = 4 V I_f ca. 500 mA indirekt geheizt Schirm-Ø = 100 mm	System I = System II U_{a1} = 1500 V U_{a2} = 7500 V U_{g3} = 420 V U_{g2} = 320 V $U_{g1sperr}$ = —70...—15 V AE_{pk} = 0,16 mm/V AE_{ps} = 0,15 mm/V	System I = System II U_{a1} = 1000...2000 V U_{a2} = U_{a1}...5 U_{a1} *) U_{g3} = 700 V U_{g2} = 250...400 V U_{g1} = —150...0 V R_p = 3 MΩ *) max. 7500 V

Tabelle 14 (Schluß)

Type, Anwendung	Zubehör	Heizung	Betriebswerte	Grenzwerte
DBM 13-34 **DGM 13-34** Zweistrahl-Oszillografenröhre zur Aufnahme sehr schnell verlaufender Vorgänge, für Nachbeschleunigungsspannungen bis 22 kV gegen Katode, Planschirm	Fassung: Lg.-Nr. 30 223 Nachbeschleunigungs-Anschluß: Lg.-Nr. 30 317 Ablenkplattenanschluß: Lg.-Nr. 30 341 Abschirmzylinder: Lg.-Nr. 30 342	je System U_f = 6,3 V I_f ca. 300 mA je System I_f = 300 mA U_f ca. 6,3 V indirekt geheizt Schirm-Ø = 134 mm	System I = System II U_{a1} = 8000 V U_{a2} = 16 000 V U_{g3} = 2150 V U_{g2} = 3000 V $U_{g1sperr}$ = —140...—60 V AE_{pk} = 0,1 mm/V AE_{ps} = 0,08 mm/V AE_{pk} = 0,12 mm/V | U_{a2} AE_{ps} = 0,1 mm/V | = U_{a1}	System I = System II U_{a1} = 4000...11 000 V U_{a2} = U_{a1}...2 U_{a1} U_{g3} = 3500 V U_{g2} = 4000 V U_{g1} = —150...0 V R_p = 3 MΩ
DBM 16-12 **DGM 16-12** **DNM 16-12** Zweistrahl-Oszillografenröhre Schirmkalotte aufgeschmolzen	Fassung: Lg.-Nr. 30 222 Abschirmzylinder: Lg.-Nr. 30 316	je System U_f = 4 V I_f ca. 500 mA indirekt geheizt Schirm-Ø = 160 mm	System I = System II U_a = 1500 V U_{g3} = 420 V U_{g2} = 320 V $U_{g1sperr}$ = —70...—15 V AE_{pk} = 0,26 mm/V AE_{ps} = 0,23 mm/V	System I = System II U_a = 1000...2000 V U_{g3} = 700 V U_{g2} = 250...400 V U_{g1} = —150...0 V R_p = 3 MΩ
DBM 16-14 **DGM 16-14** **DNM 16-14** **DPM 16-14** Zweistrahl-Oszillografenröhre für Nachschleunigungsspannungen bis 7,5 kV, Schirmkalotte aufgeschmolzen	Fassung: Lg.-Nr. 30 222 Abschirmzylinder: Lg.-Nr. 30 316	je System U_f = 4 V I_f ca. 500 mA indirekt geheizt Schirm-Ø = 160 mm	System I = System II U_{a1} = 1500 V U_{a2} = 7500 V U_{g3} = 420 V U_{g2} = 320 V $U_{g1sperr}$ = —70...—15 V AE_{pk} = 0,17 mm/V AE_{ps} = 0,16 mm/V	System I = System II U_{a1} = 1000...2000 V U_{a2} = U_{a1}...5 U_{a1}*) U_{g3} = 700 V U_{g2} = 250...400 V U_{g1} = —150...0 V R_p = 3 MΩ *) max. 7500 V
MP 13-39 Einstrahl-Oszilliografenröhre mit magnetischer Fokussierung u. magnetischer Ablenkung für Radargeräte	Sockel: Oktal Anodenanschluß: Lg.-Nr. 30 317	U_f = 6,3 V I_f ca. 300 mA I_f = 300 mA U_f ca. 6,3 V Schirm-Ø = 125 mm	U_a = 4000 V 7000 V U_{g2} = 250 V 250 V $U_{g1sperr}$ = —70...—20 V —70...—20 V	U_a = 8000 V U_{g2} = 700 V U_{g1} = —250...0 V mit pos. Spitze +2 V $-U_{fk}$ (<15sec) = 410 V $-U_{fk}$ = 125 V $+U_{fk}$ = 125 V

Tabelle 15

Daten der Valvo-Katodenstrahlröhren

Typ	Ablenkplatten[1]	Heizung		Grenzdaten								Betriebsdaten							Sockel Bild 170
												Spannungen					Empfindlichkeit		
		U_f V	I_f V	U_{g5} V	U_{g4} V	U_{g3} V	U_{g2} V	U_{g1} V	$-U_{g1}$ V	U_{D1}[2] V	U_{D2}[2] V	U_{g5} V	U_{g4} V	U_{g3} V	U_{g2} V	$-U_{g1}$ V	1 mm/V	2 mm/V	
DB 7-2 DG 7-2 DN 7-2	2 + 2a	4	1	—	—	800	350	0	200	450	750	—	—	800	150—350	0—30	0,22	0,14	1
DB 7-5 DG 7-5 DP 7-5 DR 7-5	2 + 2	6,3	0,31	—	—	max. 1000 min. 800	400	0	100	450	750	—	—	800	200—300	0—50	0,25	0,16	2
DB 7-6 DG 7-6 DP 7-6 DR 7-6	2 + 2a	6,3	0,31	—	—	max. 1000 min. 800	400	0	100	450	750	—	—	800	200—300	0—50	0,25	0,16	2
DG 7-31	2 + 2a	6,3	0,3	—	max. 800 min. 450	max. 200 min. 0	max. 800 min. 450	0	150	450	750	—	500	0—120	500	40—90	0,39	0,25	3
DG 7-32	2 + 2	6,3	0,3	—	max. 800 min. 450	max. 200 min. 0	max. 800 min. 450	0	150	450	750	—	500	0—120	500	40—90	0,39	0,25	3
DG 7-36	2 + 2	6,3	0,3	—	max. 2500 min. 1000	1000	max. 2500 min. 1000	0	200	500[3]	500[3]	—	1500	247—397	1500	40—80	0,54	0,37	4
DB 10-2 DG 10-2 DP 10-2 DR 10-2	2 + 2	6,3	0,3	—	2500	1000	2500	0	150	450	450	—	2000	400—720	2000	45—100	0,35	0,27	5

Tabelle 15 (Fortsetzung)

Typ	Ablenkplatten[1]	Heizung		Grenzdaten								Betriebsdaten							Sockel Bild 170
												Spannungen					Empfindlichkeit		
		U_f V	I_f V	U_{g5} V	U_{g4} V	U_{g3} V	U_{g2} V	U_{g1} V	$-U_{g1}$ V	U_{D1}[2] V	U_{D2}[2] V	U_{g5} V	U_{g4} V	U_{g3} V	U_{g2} V	$-U_{g1}$ V	mm/V	mm/V	
DB 10-5 DG 10-5 DR 10-5	2 + 2a	4,0	0,56	3000	1200	500	1200	0	200	350	450	2500	1000	mit Nachbeschleunigung 200—340	1000	18—46	0,37	0,32	6
												1000	1000	ohne Nachbeschleunigg. 200—340	1000	18—46	0,65	0,55	
DB 10-6 DG 10-6 DP 10-6 DR 10-6	2 + 2	6,3	0,3	5000	2500	1000	2500	0	150	450	450	4000	2000	mit Nachbeschleunigung 400—720	2000	45—100	0,28	0,22	7
												2000	2000	ohne Nachbeschleunigg. 400—720	2000	45—100	0,35	0,27	
DB 10-54 DG 10-54 DP 10-54	2 + 2	6,3	0,3	6000	3000	1500	3000	0	250	750[3]	750[3]	4000	2000	mit Nachbeschleunigung 400—700	2000	40—100	0,46	0,22	8
												2000	2000	ohne Nachbeschleunigg. 400—700	2000	40—100	0,55	0,26	
DB 13-2 DG 13-2 DP 13-2 DR 13-2	2 + 2	6,3	0,3	5000	2500	1000	2500	0	150	450	450	4000	2000	mit Nachbeschleunigung 400—720	2000	45—100	0,38	0,33	8
												2000	2000	ohne Nachbeschleunigg. 400—720	2000	45—100	0,47	0,41	
DB 13-14 DG 13-14 DP 13-14	2 + 2	6,3	0,3	6000	3000	1500	3000	0	250	750[3]	750[3]	4000	2000	mit Nachbeschleunigung 400—700	2000	40—100	0,34	0,29	8
												2000	2000	ohne Nachbeschleunigg. 400—700	2000	40—100	0,40	0,35	
DB 13-54 DG 13-54 DP 13-54	2 + 2	6,3	0,3	8000[4]	4000	2000	4000	0	250	750[3]	750[3]	4000[4]	2000	mit Nachbeschleunigung 360—700	2000	30—90	0,80	0,35	9
												2000[4]	2000	ohne Nachbeschleunigg. 360—700	2000	30—90	1,00	0,45	

[1]) a = asymmetrisch.

[2]) Spitzenspannung zwischen den Platten des Systems.

[3]) Spitzenspannung zwischen jeder Ablenkplatte und $g_2 + g_4$.

[4]) U_{g6}; g_5 liegt an $g_2 + g_4$.

Tabelle 16
Schlüssel für die Bezeichnung der Katodenstrahlröhren

1. Buchstabe	2. Buchstabe	Ziffern
Ablenkung und Fokussierung	**Kennzeichnung des Leuchtschirmes**	**Die Ziffern vor dem Strich bedeuten**
A = Magnetische Ablenkung in beiden Richtungen, elektrostatische Fokussierung D = Elektrostatische Ablenkung in beiden Richtungen, elektrostatische Fokussierung M = Magnetische Ablenkung in beiden Richtungen, magnetische Fokussierung	B = Blaue Fluoreszenz, kurze Nachleuchtdauer C = Blauviolette Fluoreszenz, sehr kurze Nachleuchtdauer F = Orangefarbene Fluoreszenz, sehr lange Nachleuchtdauer G = Grüne Fluoreszenz, mittlere Nachleuchtdauer N = Grüne Fluoreszenz, lange Nachleuchtdauer P = Zuerst bläuliche Fluoreszenz, kurze Nachleuchtdauer, dann grüngelbe Phosphoreszenz, sehr lange Nachleuchtdauer R = Grüngelbe Fluoreszenz, sehr lange Nachleuchtdauer W = Weißliche Fluoreszenz; Schirm für Fernseh-Bildröhren	bei runden Schirmen: Durchmesser des Leuchtschirmes in cm, bei Rechteckschirmen: Diagonale des Leuchtschirmes in cm. Die Ziffern hinter dem Strich sind ein Konstruktionsmerkmal.

Tabelle 17 bringt eine Vergleichsübersicht für die früheren AEG-Röhren und die jetzigen Telefunkenröhren, soweit sie mit den älteren AEG-Röhren identisch sind.

Tabelle 17

DBM 16—12 bisher HR 2/160/1,5 DGM 16—12 bisher HR 2/160/1,5 DNM 16—12 bisher HR 2/160/1,5 N	DBM 16—14 bisher HR 2/160/1,5/6 DGM 16—14 bisher HR 2/160/1,5/6 DNM 16—14 bisher HR 2/160/1,5/6 N
DB 13—12 bisher HR 1/130/8 DBM 10—12 bisher HR 2/100/1,5 DGM 10—12 bisher HR 2/100/1,5 DNM 10—12 bisher HR 2/100/1,5 N	DBM 10—14 bisher HR 2/100/1,5/6 DGM 10—14 bisher HR 2/100/1,5/6 DNM 10—14 bisher HR 2/100/1,5/6 N

Zu erwähnen sind schließlich noch die von Lorenz hergestellten sogenannten Blauschriftröhren. Sie verfügen nicht über einen der üblichen Leuchtschirme, sondern über einen Spezialschirm, der sich unter dem Einfluß der Elektronenbestrahlung blau verfärbt, eine Erscheinung, die man „Tenebreszenz" nennt. Die so gewonnene Aufzeichnung bleibt sehr lange, mindestens mehrere Stunden, erhalten. Deshalb kann ein Oszillogramm in aller Ruhe und mit jeder erforderlichen Gründlichkeit ausgewertet werden, was bei den normalen Nachleucht-Schirmen nicht möglich ist.

Der durchsichtige Schirmträger ist mit einer sogen. Löschschicht versehen, die elektrisch leitet und deren Enden über Kontakte von außen zugänglich

Tabelle 18
Vorläufige technische Daten der Rechteckbildröhre MS 17-21 mit Blauschriftschirm für Industriefernsehen

Strahlsystem		Pentode	
Kolben		Allglasausführung	
Sockel		Duodekal mit 7 Stiften	
Fokussierung		magnetisch	
Ablenkung		magnetisch	
Ablenkwinkel		diagonal 70°	
Stirnfläche		plan	
Material		Klarglas	
Schirm		Blauschriftschirm	
Bilddauer		extrem lang	
Absorptionsmaximum der Verfärbung		λ = 563 mμ	
min. nutzbare Abmessungen (Schirmfläche)		80 mm × 123 mm	
Gesamtlänge einschl. Sockel		etwa 275 ± 10 mm	
Gewicht		etwa 0,75 kg	
1. Heizwerte für Parallel- oder Serienspeisung			
Heizspannung	U_h	6,3	V
Heizstrom	I_h	0,3	A
Oxydkatode, indirekt geheizt			
2. Betriebswerte			
Anodenspannung	U_a	10	kV
Schirmgitterspannung	U_2	etwa 300	V
Spannung am Hilfsgitter 3	U_3	0..400	V
Sperrspannung [1])	U_1	—40...—86	V
Löschleistung [2])	N_1	75	W
Der Außenbelag der Röhre ist zu erden.			

[1]) Die Sperrspannung entspricht der Spannung, die bei scharf gebündeltem unabgelenktem Strahl noch keine Färbung des Leuchtschirmes verursacht.

[2]) Zum Löschen des Bildes muß zwischen die beiden Anodenkontakte am Röhrenkonus eine Löschspannung gelegt werden. Es empfiehlt sich, bei jeder Röhre zunächst durch Vorversuche zu klären, mit welcher Spannung die Löschleistung von 75 W erreicht wird. Der Widerstand der Löschschicht liegt zwischen 80 und 120 Ω.

sind. Schließt man eine Spannung an, so fließt ein Strom, der die Schicht und damit den Blauschriftschirm erwärmt. Die Folge ist eine sehr schnelle Löschung der Aufzeichnung. Beispielsweise dauert die vollständige Löschung nur 10 bis 15 sec, wenn man eine Löschleistung von 75 Watt zuführt. Der Schichtwiderstand hat einen Wert von 80 bis 120 Ω.

Die von Lorenz hergestellten Blauschriftröhren haben eine Diagonale von 17 cm, die Typenbezeichnung lautet MS 17—21. Die Röhren sind für magnetische Fokussierung und Ablenkung eingerichtet, besitzen keine Ionenfalle und haben einen Ablenkwinkel von 70°. Da sie mit den normalen Fernseh-Bildröhren (abgesehen vom Schirm) weitgehend übereinstimmen, können sie mit den üblichen Ablenk- und Fokussiereinheiten betrieben werden. Es muß natürlich eine zusätzliche Stromquelle für die Löschung vorhanden sein.

In Tabelle 18 sind die Daten der Lorenz-Blauschriftröhren angegeben.

2. Kippröhren

Schließlich sind noch die gasgefüllten Kippröhren (Gastrioden) zu erwähnen. Die ersten in Deutschland erhältlichen Röhren stammten von der AEG („Thyratron"). Später wurden von Philips solche Gastrioden geliefert. Auch Radio Loewe-AG. hat eine solche herausgebracht, ebenso Siemens („Stromtor"). Während des Krieges entstanden einige kommerzielle Röhren. Die nachstehende Tabelle 19 bringt die Daten der wichtigsten Gastrioden.

Es sei noch erwähnt, daß für Hochvakuumröhren-Kippgeräte die verschiedensten Röhren verwendet werden, vor allem Spezialpentoden. So ist z. B. die ECC 82, eine Doppeltriode mit getrennten Systemen, für Sperrschwinger- und Multivibratorschaltungen gut geeignet.

Tabelle 19. Daten der wichtigsten Gastrioden

Typ	Hersteller	U_h Volt	J_h Ampere	$U_{a\,max}$ Volt	$f_{k\,max}$ kHz	$J_{a\,max}$ mA
S 0,3/0,2 i	AEG	4	1	700	20	7,5
FK 1	Opta	4	1	500	—	555
EC 50	Valvo	6,3	1,3	1 000	150	10
AC 50	Valvo	4	1,5	1 000	150	10
46 86	Valvo	4	1,2	300	50	3
LG 200	kommerziell	12,6	6,67	1 000	—	10

III. Selbstbaugeräte

1. Allgemeine Richtlinien

Der Selbstbau von Oszillografen ist durchaus möglich, wenn die erforderlichen elektrischen und konstruktiven Gesichtspunkte beachtet werden. Die zu stellenden Anforderungen an Vorkenntnisse und Geschicklichkeit sind jedoch recht erheblich, so daß sich nur der in dieser Technik einigermaßen Erfahrene an den Selbstbau wagen sollte. Natürlich wird auch der Ungeübte so weit kommen, daß auf dem Leuchtschirm schließlich ein Leuchtfleck entsteht und daß dieser abgelenkt werden kann. Trotzdem haben eine schlecht durchdachte Schaltung und ein unvorteilhafter Aufbau so viel Fehlermöglichkeiten zur Folge, daß das Resultat nicht befriedigt, der so entstandene Oszillograf also wertlos ist.

Es treten beim Bau von Oszillografen hochfrequenz- und verstärkertechnische, elektronische, hochspannungstechnische und schließlich konstruktive Probleme auf, die gelöst und miteinander in Einklang gebracht werden müssen. Hochfrequenzprobleme ergeben sich vor allem bei der Fortleitung und Verstärkung der Meßfrequenz im Innern des Gerätes. Gegenüber der Rundfunktechnik mit ihren relativ kleinen Bandbreiten müssen verhältnismäßig breite Frequenzbänder beherrscht werden, die an die betreffenden Übertragungsgeräte besondere Anforderungen stellen. Alles Nähere hierüber enthält bereits das erste Kapitel, so daß wir an dieser Stelle nicht weiter darüber zu sprechen brauchen. Auch von den Hochspannungsfragen, die besonders bedeutungsvoll sind, war im ersten Kapitel ausführlich die Rede. Die dort gegebenen Hinweise zeigen zahlreiche Möglichkeiten zum Bau leistungsfähiger Hochspannungs-Netzteile, wobei auch an dieser Stelle nochmals davon abgeraten wird, den Bau von Hochspannungstransformatoren zu versuchen. Das führt meistens zu Mißerfolgen. Auf gute Isolation der Verbindungsleitungen und genügenden Abstand spannungführender Teile von geerdeten Punkten ist größter Wert zu legen. Bei hohen Spannungen bilden sich oft stille Entladungen aus, die zunächst kaum auffallen. Später bemerkt man ein leises Rauschen im Gerät und schließlich erfolgt an irgendeiner Stelle ein Überschlag, der unangenehme Folgen haben kann, wenn keine wirksame Sicherung vorhanden ist. Derartige schwache Stellen sind anfänglich nur schwer zu erkennen und treten erst später, nachdem die hohe Spannung schon längere Zeit auf das Isoliermaterial eingewirkt und es gewissermaßen mürbe gemacht hat, in Erscheinung. Stille Entladungen sind nämlich stets mit der Erzeugung von Ozon verbunden, der im Laufe der Zeit zu einer chemischen Veränderung des Isoliermaterials bis zur Unbrauchbarkeit führt. Man kann alle diese Erschei-

nungen jedoch mit Sicherheit vermeiden, indem man dafür sorgt, daß sich keine großen Felddichten ausbilden können. Das erreicht man, wie schon erwähnt, vor allem durch große Abstände. Es genügt also keineswegs, die Abstände „überschlagssicher" zu bemessen, sondern sie müssen auch die Ausbildung hoher Felddichten verhindern. Ein sicheres Kennzeichen dafür, daß das nicht der Fall ist, bildet der typische Ozongeruch, der sich beim Betrieb solcher Hochspannungsgeräte bemerkbar macht.

In konstruktiver Hinsicht sind es vor allem die Streufelder, die manchen Kummer bereiten. Auch hierüber sind nähere Erörterungen in den früheren Teilen dieses Buches zu finden. Weitgehenden Schutz verschafft man sich stets durch eine genügend wirksame Abschirmung der Katodenstrahlröhre mit einem metallischen Zylinder möglichst großer Permeabilität. Man kann dann bei der Anordnung des Netztransformators, der Netzdrosseln und sonstiger störender Organe wesentlich großzügiger vorgehen. Auch das Verdrahtungsproblem gehört zu den konstruktiven Fragen, denen besondere Aufmerksamkeit zu schenken ist. Wie die Ausführungen über die Verstärker zeigten, muß z. B. jede größere schädliche Erdkapazität der Anoden und der Gitter vermieden werden. Das setzt einen zweckmäßigen Aufbau voraus, der kürzeste und kapazitätsarme Leitungen erlaubt. Eine Abschirmung der Verstärkerleitungen ist wegen der zusätzlichen, dadurch verursachten Kapazität nicht ratsam, manchmal jedoch nicht ganz zu vermeiden. Man muß dann einen günstigen Kompromiß schließen und soll für längere Leitungen nur kapazitätsarme Hochfrequenzkabel, keineswegs abgeschirmten Rüschschlauch verwenden.

Ein sehr wichtiges Kapitel ist auch das Fernhalten der sehr steilen und daher mit vielen Oberwellen behafteten Rücklaufimpulse des Kippgeräts von den Meßplatten, besonders dann, wenn vor diesen Platten ein empfindlicher Verstärker mit hohem Eingangswiderstand liegt. Die Rücklaufimpulse haben relativ große Amplituden, und die geringste Kopplung zwischen dem Ausgang des Kippgeräts und dem Verstärkereingang genügt, um diese Impulse als senkrechte Striche am Ende oder Anfang des Oszillogramms in recht störender Weise sichtbar werden zu lassen. Deshalb sind z. B. in manchen Fällen die oft recht praktischen Vielfachschalter, zu deren Kontakten kippspannungsführende Leitungen und solche, die zum Verstärkereingang gehören, laufen, nicht sehr brauchbar. Schon die geringe Kapazität zwischen den einzelnen Kontakten genügt, um die beschriebenen Störungen hervorzurufen. Abhilfe kann durch Abschirmbleche zwischen den Kontakten oder durch Verwendung von Schaltern geschaffen werden, die von vornherein abgeschirmt sind. In besonders kritischen Fällen ist es empfehlenswert, den Verstärkereingang auf dem kürzesten Wege zu den Anschlußklemmen an der Frontplatte des Apparates zu führen, wo sie gegebenenfalls noch getrennt abgeschirmt werden können.

Daß die Siebung des Netzteils sehr gut sein muß, ist verständlich, wenn man bedenkt, daß die Oszillografenverstärker meist eine sehr tiefe untere Grenzfrequenz haben und deshalb für 50-Hz-Störungen wesentlich empfindlicher sind als die Tonfrequenzverstärker der Rundfunktechnik. Ist die Siebung nicht ausreichend, so überlagert sich dem Oszillogramm nicht nur eine Netzkomponente, sondern es wird vor allen Dingen eine einwandfreie Synchronisierung in Frage gestellt. Das äußert sich in einer mehr oder weniger starken, ruckartigen Unruhe des (an sich stehenden) synchronisierten Vorgangs im Rhythmus der Differenz aus Netz- und Vorgangsfrequenz, ferner in einer erheblichen Unstabilität der Synchronisierung, die dann gern „davonläuft". Derartige durch Netzeinflüsse verursachten Synchronisierungsunstabilitäten erkennt man auch an der Rücklauflinie, die keinen dünnen, eng begrenzten Linienzug, sondern eine mehr oder weniger flatternde Fahne bildet. Eine Verbesserung der Netzsiebung bringt in den meisten Fällen Abhilfe. Natürlich kann die Synchronisierspannung selbst durch Netzspannungen überlagert sein. Dann muß man diese zu entfernen trachten.

Der selbstgebaute Oszillograf soll unter allen Umständen stets an einer guten Erde liegen. Das ist nicht nur im Hinblick auf ein störfreies Arbeiten, sondern auch mit Rücksicht auf eventuelle Überschläge oder Durchschläge von Bedeutung, die bei nicht geerdetem Chassis zu dessen Aufladung und schweren Gesundheitsschädigungen des Bedienenden führen können.

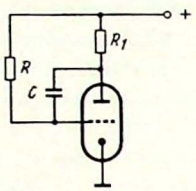
Wer ausreichende Kenntnisse hat, kann sich die Schaltung des Oszillografen so entwerfen und zusammenstellen, daß sie seinen Bedürfnissen am besten gerecht wird. Die in früheren Kapiteln enthaltenen Hinweise bieten genug Möglichkeiten für die Herstellung eigener Entwürfe. Man ist dann auch in der Lage, schon vorhandene Einzelteile zu verwenden, und die Schaltung von vornherein deren Daten anzupassen.

In elektronischer Hinsicht bietet der Selbstbau eines Oszillografen natürlich ebenfalls viel Interessantes. Baut man ganz einfache Oszillografen, so kommt man mit normalen radiotechnischen Kenntnissen aus. Dagegen macht der Selbstbau von Geräten, die auch zur Wiedergabe von Impulsen geeignet sind, größere elektronische Voraussetzungen. Wir glauben, den Lesern dieses Buches am besten zu dienen, wenn wir sehr ausführlich die Schaltung eines universell verwendbaren Oszillografen besprechen, der sich sowohl für die Wiedergabe sinusförmiger Größen als auch für die Darstellung impulsartiger Vorgänge eignet. Das Gerät kann im Ablenkteil periodisch, aber auch getriggert arbeiten, so daß ein Höchstmaß an Auflösung gewährleistet ist. Ferner sind die Möglichkeit der Messung von Spitzenspannungen und das Einblenden eines Meßimpulses vorgesehen. Das vom Verfasser anhand bekannter Grundschaltungen entwickelte Gerät hat sich bei Messungen und Untersuchungen

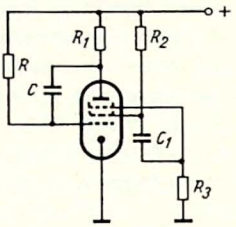
verschiedenster Art bestens bewährt und wurde schon früher in anderer Form in einem Zeitschriftenaufsatz [25]) veröffentlicht.

2. Beschreibung eines vielseitigen Selbstbau-Oszillografen

Für das Verständnis der Gesamtschaltung ist die Kenntnis des sogenannten Miller-Integrators und des Transitron-Generators Voraussetzung. Die Wirkungsweise dieser Schaltungen soll zunächt anhand der Bilder 171 und 172 besprochen werden.



Links Bild 171: Der Miller-Integrator



Rechts Bild 172: Das Miller-Transitron

Die in Bild 171 gezeigte Schaltung beruht auf dem Prinzip des Miller-Integrators, mit dem es folgende Bewandtnis hat: Es sei zunächst vorausgesetzt, daß die Röhre (z. B. wegen eines vorangegangenen negativen Impulses auf das Steuergitter) keinen Anodenstrom führt. Da der Gitterableitwiderstand R an der positiven Betriebsspannung liegt, wird sich jedoch bald ein Anodenstrom einstellen. Infolgedessen verkleinert sich die Spannung an der Anode um den Wert des Spannungsabfalls an R_1. Dieser Abfall überträgt sich jedoch kapazitiv über C auf das Steuergitter, so daß der Anodenstrom „abgebremst" wird. Nach Abklingen dieses Vorganges macht sich die positive Spannung über R wieder bemerkbar, und der Anodenstrom steigt wiederum um einen kleinen Betrag, was neuerdings einen Ausgleichsvorgang über C und damit ein Abbremsen des Stromes zur Folge hat. Jedesmal wird jedoch C etwas entladen, so daß sich der Anodenstrom langsam, aber stetig erhöht. Ebenso fällt die Spannung an der Anode. Der zeitliche Verlauf der Anodenspannung ist, wie man mathematisch zeigen kann, absolut linear. Das Zusammenwirken zwischen der positiven Gitterspannung über R und dem Ladevorgang von C erfolgt in unendlich kleinen Teilabschnitten. Weiterhin läßt sich mathematisch zeigen, daß die Zeitkonstante, die zu dem Abfall der Anodenspannung gehört, nicht nur von R und C, sondern auch von der Verstärkung der Röhre abhängt. Je größer diese ist, um so größer ist die Zeitkonstante. Der Strom durch C ist praktisch zeitlinear.

---

[25]) Richter, Ein Oszillograf für einfache Impuls- und Kurzzeituntersuchungen. — Funk-Technik 1955, Heft 3, Seite 66, und Heft 4, Seite 105.

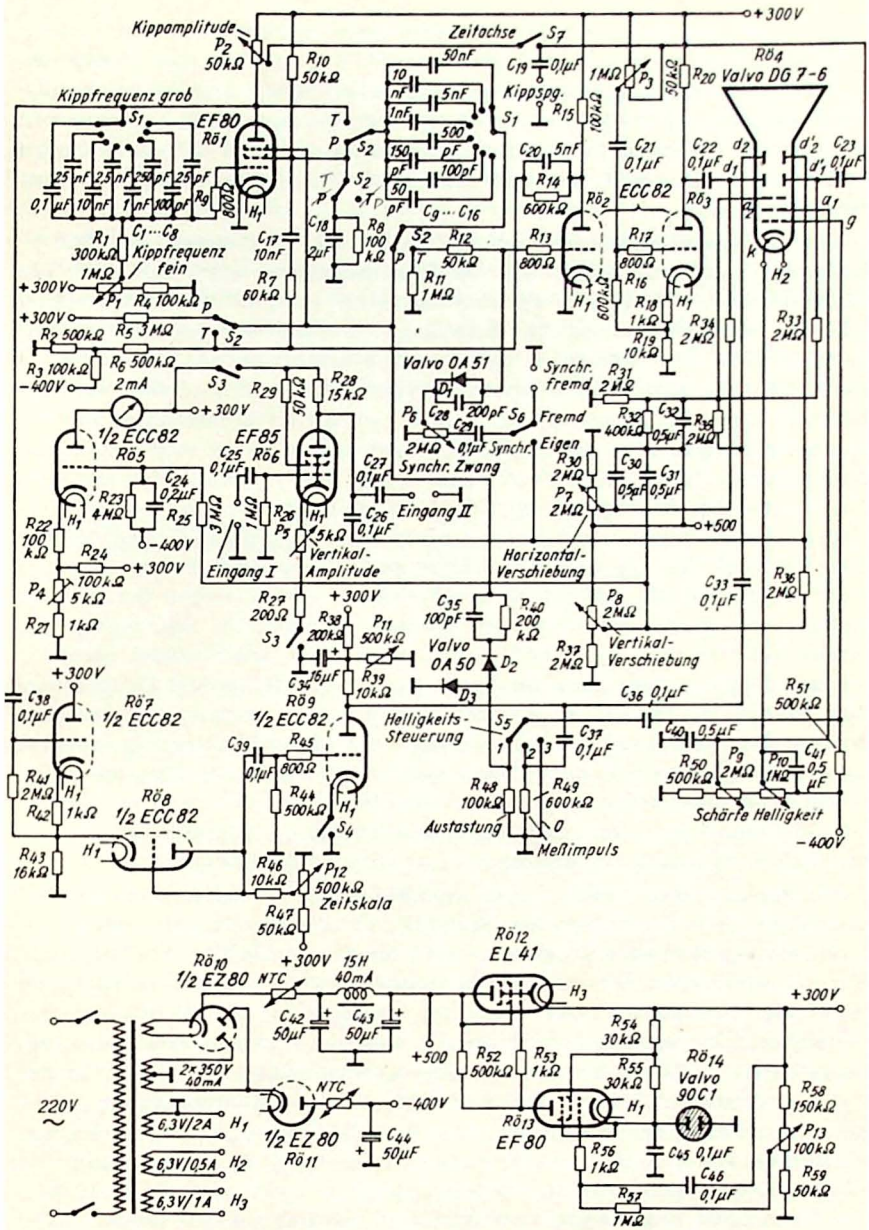


Bild 173: Gesamtschaltung des Selbstbau-Oszillografen

Dieses hier besprochene Prinzip läßt sich nun mit manchen Kippschaltungen sehr vorteilhaft verbinden, weil die Linearität des Anodenspannungsabfalls, der als Hinlauf der Kippschwingung dient, außerordentlich exakt ist. Fernerhin kommt man mit relativ kleinen Werten von C aus, weil die Zeitkonstante elektronisch vergrößert wird. Kleine Kondensatoren sind jedoch elektrisch hochwertiger als große, was sich besonders bei kleinen Kippfrequenzen auswirkt.

Eine besonders glückliche Kombination ist die Vereinigung des Miller-Integrators mit dem Transitron; die Prinzipschaltung zeigt Bild 172. Die Widerstände R und R_1 sowie der Kondensator C entsprechen den Werten in Bild 171. Neu ist die eigenartige Schaltung der Elektroden der hier verwendeten Pentode. Wir nehmen an, daß die Anodengleichspannung infolge eines schon weit fortgeschrittenen Anodenstromanstiegs bereits relativ weit gefallen ist. Sinkt die Spannung noch mehr ab, so tritt Stromübernahme von der Anode zum Schirmgitter ein, was relativ rasch erfolgt. Dann wird die Schirmgitterspannung plötzlich stärker negativ, und dieser Abfall überträgt sich über C_1 auf das Bremsgitter der Röhre, das nunmehr für eine völlige Verriegelung des Anodenstromes sorgt. Anschließend entlädt sich C_1 über R_3, und zwar so lange, bis das nunmehr stärker positiv werdende Bremsgitter den Anodenstrom wieder freigibt. Dieses Freigeben erfolgt wegen der jetzt in umgekehrter Richtung auftretenden Stromübernahme vom Schirmgitter zur Anode sehr schnell, der Anodenstrom kann aber anschließend nicht im gleichen Tempo steigen, weil das der Miller-Effekt, wie bei Bild 171 beschrieben, verhindert. Es erfolgt demnach jetzt ein langsamer und zeitlinearer Anstieg des Anodenstromes nach Maßgabe des Miller-Effektes, der so lange dauert, bis neuerlich Stromübernahme eintritt und das Bremsgitter, wie schon beschrieben, den Anodenstrom sperrt. Damit beginnt der Vorgang von neuem. Die Schaltung kippt also selbsttätig und liefert bei denkbar geringstem Aufwand einen Sägezahn ausgezeichneter Linearität an der Röhrenanode.

Die vorstehenden Ausführungen vermitteln das Verständnis für die Gesamtschaltung des Oszillografen (Bild 173). Um die Arbeitsweise der Schaltung leichter übersehen zu können, sind die Bilder 174 und 175 beigefügt. Vorerst verschaffen wir uns einen Überblick über die Gesamtschaltung (Bild 173). Die Röhren Rö 1 und Rö 2 erzeugen die Ablenkspannung für periodischen Betrieb und für Triggerung, während Rö 3 eine Phasenumkehrröhre darstellt. Sie ist zur Speisung der symmetrischen Ablenkplatten der Oszillografenröhre Rö 4 erforderlich. Zur Messung der Gleichspannungs-Komponente zwischen den Meßplatten dient Rö 5. Rö 6 ist ein einstufiger Impulsverstärker, der nach Belieben abgeändert oder erweitert werden kann. Die Röhren Rö 7, Rö 8 und Rö 9 dienen einem später zu erörternden Spezialzweck. Der Netzteil ist elektronisch stabilisiert und arbeitet mit den Röhren Rö 10

und Rö 11. Die elektronische Regelschaltung wird mit Rö 12, Rö 13 und Rö 14 verwirklicht.

In der Gesamtschaltung ist ein Vierfach-Umschalter S_2 vorgesehen. Er schaltet das Ablenkgerät vom periodischen Betrieb in den Triggerbetrieb und umgekehrt um. Die Wirkungsweise der Schaltung bei periodischem Betrieb ergibt sich am besten an Hand von Bild 174, das vorliegt, wenn der Schalter S_2 auf „periodisch" geschaltet ist. In diesem Fall wirken Rö 1 und Rö 2 als Transitron-Miller-Integrator, wie bei Bild 171 und 172 beschrieben. An der Anode von Rö 1 tritt der zeitlineare Abfall auf, die Spannung kann an P_2 geregelt werden. Die Kondensatoren C_9...C_{16} sind je nach Kippfrequenzbereich umschaltbar und entsprechen im Prinzip dem Kondensator C_1 in Bild 173. Der Miller-Kondensator C in Bild 173 wird durch C_1...C_8 in Bild 174 verkörpert. Die Kippfrequenz wird durch gleichzeitiges Umschalten der besprochenen

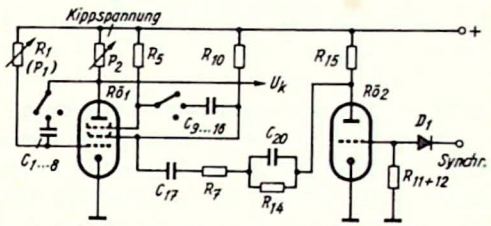


Bild 174: Prinzipschaltung für periodischen Betrieb des Oszillografen

Kondensatoren in Stufen grob geregelt, während der Widerstand R_1 eine Feinregelung erlaubt. Die Rücklaufzeit hängt von P_2 sowie von der Miller-Kapazität und den schädlichen Schaltkapazitäten ab. Ein sorgfältiger Aufbau ist also wichtig. Wie wir noch sehen werden, kann man den Rücklauf austasten.

In der dem Bild 174 entsprechenden Schalterstellung wirkt Rö 2 als einfacher Synchronisierverstärker. Die synchronisierende Spannung wird über die Germaniumdiode D_1 zum Steuergitter geführt. Diese Diode gewährleistet in dem später zu besprechenden Triggerbetrieb eine eindeutige negative Aussteuerung des Gitters. Im periodischen Betrieb verzerrt sie gleichzeitig die Synchronisierspannung, was wegen der dann entstehenden steilen Flanken vorteilhaft ist. An R_{15} steht die verstärkte und entsprechend verzerrte Synchronisierspannung zur Verfügung. Die Widerstände R_7, R_{14} und die Kondensatoren C_{17}, C_{20} dienen zur gleichstrommäßigen Trennung der Stufen bzw. zur Kurvenformbeeinflussung im Rahmen der Gesamtschaltung.

Die Schaltung für periodischen Betrieb dürfte nunmehr auch an Hand von Bild 173 bei der entsprechenden Stellung von S_2 verständlich sein. Die sich einstellende Kippamplitude wird weitgehend von denjenigen Spannungswerten an den Röhrenelektroden bestimmt, bei denen die erwähnten Vor-

gänge der Stromübernahme einsetzen. Auf jeden Fall erhält man schon bei einer Betriebsspannung von 300 V eine genügende Aussteuerung des Leuchtschirms kleiner Katodenstrahlröhren, im vorliegenden Fall der Valvo-Röhre DG 7—6. Die Kippspannung wird an das symmetrische Ablenkplattenpaar $d_1 d'_1$ angeschlossen. Die Platte d_1 wird von Rö 3 gespeist, d'_1 dagegen unmittelbar

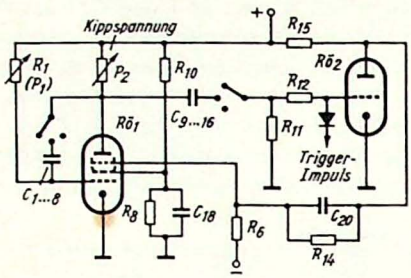


Bild 175: Prinzipschaltung für Triggerbetrieb des Oszillografen

von Rö 1. Dadurch ergibt sich gleichzeitig eine Verdopplung der Ablenkspannung, und bei einer Oszillografenröhren-Anodenspannung von 800 V reicht die Zeitachse in der Maximalstellung von P_2 noch über den Leuchtschirm hinaus. Die für Rö 3 erforderliche Gitter-Steuerspannung wird einem mit Schraubenzieher bedienbaren Potentiometer P_3 entnommen. Ein Schalter S_7 gestattet die Abtrennung der Kippspannung von den Platten, so daß sich über C_{19} auch eine beliebige andere unsymmetrische Spannung anschließen läßt. Mit Hilfe des Schalters S_1 werden die Kippfrequenzbereiche eingestellt. Die Werte der Kondensatoren sind so gewählt, daß sich die Bereiche gut überschneiden. Die Kippfrequenzen liegen zwischen 5 Hz und etwa 100 kHz, wobei die obere Grenze von der Güte der Verdrahtung und des Aufbaues abhängt.

Wir besprechen nunmehr die Wirkungsweise der Ablenkschaltung bei der Schalterstellung T von S_2, also im Triggerbetrieb. Bild 175 erleichtert das Verständnis der Gesamtschaltung. Die Röhren Rö 1 und Rö 2 wirken jetzt als „Sanatron", worunter man eine sehr leistungsfähige amerikanische, triggerbare Schaltung versteht. Die Anordnung arbeitet folgendermaßen: Über den Widerstand R_6 wird dem Bremsgitter von Rö 1 eine so hohe negative Vorspannung zugeführt, daß zunächst kein Anodenstrom fließt. Die Widerstände R_{14}, R_{15} und R_6 bilden einen Gleichspannungsteiler, wodurch das Bremsgitter eine etwas kleinere negative Vorspannung erhält. Fließt durch Rö 2 ein kräftiger Anodenstrom, so ist die Anodenspannung von Rö 2 wegen des Abfalles an R_{15} noch zu klein, um eine Entriegelung von Rö 1 zu bewirken. Das ist immer dann der Fall, wenn Rö 2 nicht gesteuert wird, denn das Steuergitter liegt über R_{12} und R_{11} an Masse. Ein selbständiges Kippen ist demnach nicht

möglich, und die Anodenspannung von Rö 1 entspricht praktisch der Betriebsspannung. Sobald aber über die Germaniumdiode D_1 ein negativer Impuls auf das Steuergitter von Rö 2 gelangt, wird das Bremsgitter von Rö 1 so stark positiv, daß in Rö 1 Anodenstrom aufzutreten beginnt. Deshalb kann diese Röhre jetzt als Miller-Integrator wie beschrieben arbeiten. Der demnach an der Anode auftretende Spannungsabfall wird über C_9 und C_{16} auf das Gitter von Rö 2 übertragen. Während dieser Zeit fließt über die genannten Kondensatoren und R_{11} ein konstanter Strom. Deshalb bleibt das Gitter von Rö 2 auch nach dem Aufhören des Auslöseimpulses so weit negativ, daß Rö 1 durch ein hinreichend positives Bremsgitter entriegelt bleibt. Der Ladestrom über die Kondensatoren hört erst dann auf, wenn die Anodenspannung von Rö 1 auf die Anodenrestspannung abgesunken ist. Dann wird das Gitter von Rö 2 positiv, das Bremsgitter von Rö 1 so stark negativ, daß diese Röhre von neuem gesperrt wird. Dann steigt die Anodenspannung von Rö 1 mit der Zeitkonstante des Millerkreises neuerdings bis zur Maximalspannung an, der nächste Hinlauf setzt erst nach dem Eintreffen eines neuen Auslöse- oder Triggerimpulses ein. Die Betriebsspannung wird in diesem System sehr gut ausgenützt, denn die Differenz zwischen dieser und der bei modernen Röhren sehr kleinen Anoden-Restspannung bestimmt die Kippamplitude. Sie ist bei einem Sanatron höher als bei dem einfachen Transitron-Integrator, dessen Kippamplitude von anderen, schon erwähnten Daten abhängt.

In der Schaltung Bild 175 verbleibt das Schirmgitter von Rö 1 auf konstantem Potential, denn es liegt über C_{18} am Schaltungsnullpunkt, so daß es an dem besprochenen Steuervorgang nicht teilnimmt. Der Kondensator C_{20} überbrückt R_{14}, um beim Eintreffen eines Auslöseimpulses den dann auftretenden Spannungsabfall an R_{15} möglichst ohne Verzögerung an das Bremsgitter von Rö 1 übertragen zu können. Die Zeitdehnung, die ja beim Triggerbetrieb ausschlaggebend ist, wird durch das Verhältnis zwischen der Auslöseimpuls-Folgefrequenz und der Zeitkonstante im Gitter-Anodenkreis der Miller-Schaltung bestimmt. Die Zeitdehnung wird um so größer, je kleiner diese Zeitkonstante und die Grundfrequenz der Impulse gemacht werden.

Nach Erläuterung der grundsätzlichen Wirkungsweise des Sanatrons sind nun weitere Einzelheiten der Schaltung Bild 173 verständlich. Im Gitterkreis von Rö 2 liegt ein Widerstand, damit die von außen kommenden Triggerimpulse mit dem eigentlichen Sanatronkreis nicht verkoppelt werden. Am Spannungsteiler R_2R_3 wird die für das Bremsgitter von Rö 1 nötige negative Vorspannung abgegriffen. Das untere Ende liegt an einer besonders im Netzteil erzeugten Spannung von —400 V. Die Kondensatoren C_9...C_{16} haben im Triggerbetrieb die Aufgabe, den Spannungsabfall an P_2 auf das Steuergitter von Rö 2 zu übertragen. Im periodischen Betrieb bewirken sie die kapazitive Kopplung zwischen Bremsgitter und Schirmgitter der Transitronröhre. Da der

Triggerimpuls in der Sanatronschaltung sofort den Hinlauf auslöst, eignet sie sich wegen der dadurch bedingten geringen zeitlichen Verzögerung zwischen Einsatzflanke des Impulses und dem Beginn der Zeitablenkung für den Triggerbetrieb besonders gut. Die Zeitdifferenz liegt bei Bruchteilen einer Mikrosekunde.

Wir besprechen nun an Hand von Bild 173 die Wirkungsweise der Synchronisierung im periodischen Betrieb. Das Steuergitter von Rö 2 erhält über D_1 eine Synchronisierspannung, die sich mit P_6 regeln läßt. Um die steile Impulsflanke gut zu übertragen, ist der Kondensator C_{28} vorgesehen. Mit Hilfe von S_6 kann die Synchronisierspannung über C_{29} besonderen Anschlüssen entnommen oder von der Meßspannung unmittelbar über C_{29} abgezweigt werden. Es sind also sowohl Fremdsynchronisierung als auch Eigensynchronisierung möglich. Die Diode D_1 sorgt unabhängig von Polarität und Form der Meßspannung für stets negative Steuerimpulse am Steuergitter von Rö 2. Die Serienschaltung von R_{12} und R_{11} wirkt im periodischen Betrieb als Ableitwiderstand von Rö 2; im Triggerbetrieb dient R_{12} zur Entkopplung zwischen den Auslöseimpulsen und dem Sanatronkreis.

Der in diesem Oszillografen vorgesehene Meßverstärker ist sehr einfach und nicht besonders leistungsfähig. Vor allem für den Anfänger ist es besser, wenn er den Meßverstärker, sofern dieser eine große Verstärkung hat, gesondert aufbaut, um unerwünschte Einstreuungen zu vermeiden. Solche Einstreuungen können mitunter nur durch relativ großen konstruktiven Aufwand unterdrückt werden. Der hier im Bild 173 vorgesehene Verstärker mit der Röhre Rö 6 ist einstufig; der Außenwiderstand von 15 kΩ ist relativ groß, so daß Impulse mit sehr steiler Anstiegflanke nicht mehr einwandfrei wiedergegeben werden. Man kann R_{28} gegebenenfalls kleiner wählen, muß dann aber natürlich mit einem Amplitudenrückgang rechnen. Wesentlich leistungsfähiger sind Meßverstärker, wie sie in Industriegeräten vorkommen, falls man den größeren Aufwand in Kauf nehmen will.

Die Verstärkung wird mit P_5 geregelt, R_{27} erzeugt die Vorspannung bei Maximalverstärkung. Die an R_{28} liegende, verstärkte Spannung gelangt über C_{26} an die Ablenkplatte d'_2 des unsymmetrischen Plattenpaares d_2—d'_2. Bei unmittelbarer Zuführung der Meßspannung an diese Platten dreht man P_5 ganz nach links; dann wird der damit gekuppelte doppelpolige Ausschalter S_8 geöffnet. Auf diese Weise erhält man einen hochohmigen Eingang (Eingang II). Der Anschluß Eingang I ist bei Benützung der Verstärkerröhre gedacht.

Recht interessant sind die Strahl-Dunkeltastung während des Rücklaufs im periodischen Betrieb und die Helltastung im Triggerbetrieb. Bei beiden Betriebsarten macht man von dem am Bremsgitter von Rö 1 auftretenden negativen Impuls Gebrauch. Über R_{40} gelangt die Spannung nach Passieren von D_2 zu einem Widerstand R_{48}. Um die steilen Anstiegflanken unge-

schwächt übertragen zu können, ist C_{35} vorgesehen. An R_{48} entsteht ein negativer Impuls, die in positive Spannungsgebiete gehenden Impulsteile werden durch D_2 unterdrückt. Eine weitere Diode D_3 schließt noch vorhandene positive Reste kurz. Der nun einwandfreie negative Impuls gelangt zum Wehneltzylinder der Oszillografenröhre, und zwar über S_5 und C_{36}. Mit diesem Impuls wird der Rücklauf völlig ausgetastet. Man kann diese Strahlausblendung aber auch vermeiden, wenn sich S_5 auf Stellung 3 befindet.

Beim Triggern herrschen andere Verhältnisse. Hier entsteht am Bremsgitter von Rö 1 ein positives Signal, mit dessen Hilfe der Strahl aufgehellt werden kann. Auch dieser Impuls gelangt zum Wehneltzylinder; dessen Grundvorspannung muß so einreguliert werden, daß man das Oszillogramm gerade gut erkennt. Die in die Wartezeit des Strahles und den Rücklauf fallenden Vorgänge sind dann nicht sichtbar.

Recht vorteilhaft ist die Möglichkeit einer Strahlverschiebung mittels regelbarer Gleichspannungen, und zwar sowohl in vertikaler als auch in horizontaler Richtung. Deshalb liegt die Hauptanode a_2 der Oszillografenröhre nicht auf höchstem positivem Potential, sondern es ergibt sich wegen R_{31}/R_{32} ein etwas kleinerer Wert. Der Strahl läßt sich nun mit P_7 und P_8 nach links und rechts bzw. nach oben und unten schieben. Die Verschiebespannungen werden über R_{34}/R_{36} den Platten zugeführt. Diese Widerstände dienen ebenso wie R_{35} und R_{33} als Außenwiderstände. Zwischen den Platten und dem Kippspannungserzeuger bzw. der Meßspannung besteht kapazitive Kopplung.

Die Gesamtschaltung Bild 173 enthält eine interessante Einrichtung zur Erzeugung eines Meßimpulses, den man kontinuierlich über das ganze Oszillogramm in horizontaler Richtung schieben kann. Zu diesem Zweck wird die an P_2 auftretende Sägezahnspannung von Rö 1 über C_{38} dem Steuergitter einer Röhre Rö 7 zugeführt. Sie arbeitet als Katodenverstärker und hat nur die Aufgabe, die eigentliche Meßschaltung und die Röhre Rö 1 voneinander zu entkoppeln. In gleicher Phasenlage wie am Gitter wird die Kippspannung von R_{43} abgegriffen und einer Diode Rö 8 zugeleitet. Hierfür kann das System einer ECC 82 dienen, dessen Gitter und Anode verbunden werden. An der Anode von Rö 8 liegt über R_{46} eine einstellbare, an P_{12} abgreifbare positive Spannung. Je größer sie ist, um so größer darf auch die Spannung an R_{43} sein, bis Rö 8 öffnet. Bei höherer negativer Spannung an P_{12} erfolgt die Öffnung schon bei kleineren positiven Spannungen an R_{43}, an dem die lineare Kippspannung liegt. Vernachlässigt man die Restspannung der Diode, so öffnet diese immer dann, wenn die Spannung an R_{43} denselben Wert wie die an P_{12} eingestellte Gegenspannung hat. Man kann daher mit Hilfe von P_{12} jederzeit während des Hinlaufes die Diode öffnen und damit einen Stromstoß durch R_{46} erzeugen, der dort einen negativen Impuls hervorruft. Dieser gelangt über C_{39} auf das Steuergitter von Rö 9, deren Anodenspannung wegen des Teilers

R_{38}/P_{11} relativ klein ist. Dann ergibt sich an R_{39} eine annähernde Rechteckkurve, deren Einsatzflanke gegenüber dem durch den Rücklauf bewirkten Abfall mit P_{12} beliebig verschoben werden kann. Die Einsatzflanke der Rechteckspannung entspricht der jeweiligen Kippspannungsphase. Die Flanke wird über C_{33} der Platte d_2 der Oszillografenröhre zugeführt, was allerdings wegen deren Verbindung mit a_2 nicht ganz zulässig ist. Es zeigen sich jedoch bei hinreichend kleinen Amplituden keine störenden, in dem asymmetrischen System begründeten Erscheinungen. Die Meßflanke kann auch über C_{37} auf R_{49} geschaltet werden. Dann ergibt sich in der Schalterstellung 2 von S_5 eine Strahlverdunkelung, die vom Beginn der Meßflanke bis zum Hinlaufende dauert, denn der Strahl wird über C_{36} ausgetastet.

Da man P_{12} in Zeiteinheiten eichen kann, eröffnet sich die Möglichkeit quantitativer Messungen. Potentiometer mit linearer Widerstandskennlinie liefern eine lineare Zeitskala unter Voraussetzung eines linearen Kippspannungsverlaufes. Bei der meßtechnischen Auswertung muß natürlich die Zeitdauer des Hinlaufs bekannt sein; dieser Wert kann mit Hilfe von Meßsendern bzw. bei bekannter Trigger-Folgefrequenz ermittelt werden. Bei bekanntem Verhältnis zwischen Hinlauf und Rücklauf ist eine Eichung von P_{12} in Milli- oder Mikrosekunden möglich. Die Meßimpuls-Amplitude kann mit P_{11} weitgehend geregelt werden. Den Schalter S_4 kuppelt man zweckmäßigerweise mechanisch mit P_{11} oder P_{12}, so daß der Meßimpuls ab- oder zugeschaltet werden kann. Germaniumdioden als Ersatz von Rö 8 sind nicht geeignet, weil der vorhandene Rückstrom zu groß ist. Das skizzierte Verfahren arbeitet vollkommen frequenzunabhängig, denn differenzierende und integrierende Schaltmittel kommen nicht vor. Bei der Messung schiebt man die Meßimpulsflanke zuerst auf den Anfang und dann auf das Ende des zu untersuchenden Oszillogramms. Die Differenz beider Zeitwerte, auf der Skala von P_{12} abgelesen, ergibt die zeitliche Dauer des Oszillogrammausschnittes.

Es soll nun die Einrichtung zur Impulsspannungsmessung besprochen werden. Sie liegt in Form eines für Gleichspannungen geeigneten Röhrenvoltmeters mit Rö 5 vor. Der am Gitter liegende Spannungsteiler R_{23}/R_{24} bewirkt, daß das im Anodenkreis befindliche Milliamperemeter gerade in der Mitte der Skala steht, wenn die Zeitachse auf dem Schirm die Normallage einnimmt. Die zugehörige Gleichspannung wird an P_8 abgegriffen und dem Röhrenvoltmeter über R_{25} zugeleitet. Der Widerstand R_{22} bewirkt in der Katodenleitung von Rö 5 eine starke Gegenkopplung. Der Abgleich erfolgt durch $R_{21}/P_4/R_{24}$. Soll beispielsweise ein Rechteckimpuls gemessen werden, so markiert man auf dem Leuchtschirm die Amplituden und verschiebt mit P_8 nach Unterbrechung der Vertikalablenkung den Strahl so, daß er nacheinander mit dem positiven und dem negativen Höchstwert des Impulses zur Deckung kommt. Die Differenz zwischen den Instrumentenausschlägen, das in Spannungswerten geeicht sein muß, entspricht der Spitzenspannung des Impulses.

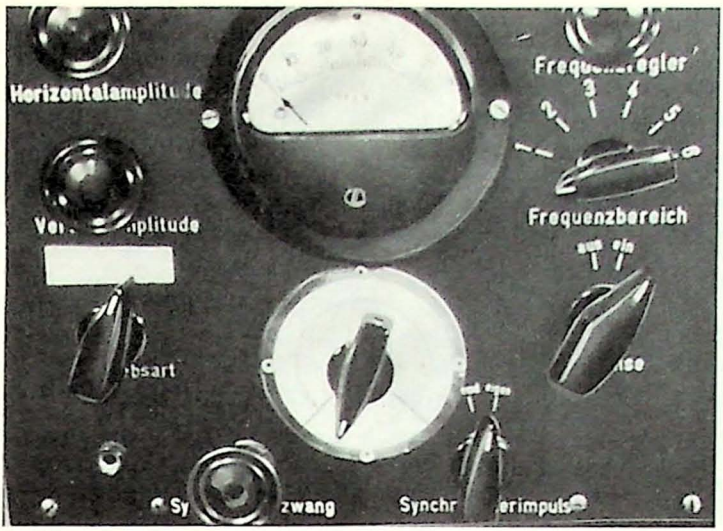


Bild 176: Teilansicht der Frontplatte des Oszillografen

Abschließend noch kurz einiges zum Netzteil. Der Netztransformator erzeugt mit Rö 10 eine gegenüber dem Schaltungsnullpunkt positive Spannung (etwa 500 V im Leerlauf), wobei C_{42} als Lade- und C_{43} als Siebkondensator vorgesehen sind. Rö 11 liefert eine gegenüber dem Nullpunkt negative Spannung von rund —400 V an C_{44}. Das entspricht dem Potential des Wehneltzylinders; die Hauptanode erhält über R_{31}/R_{32} ein positives Potential von rund 400 V gegenüber Masse. Die Summenspannung von 800...900 V genügt zum Betrieb der Röhre. Die an C_{44} vorhandene negative Spannung liegt weiterhin an R_9/R_3 und stellt die für den Triggerbetrieb erforderliche negative Vorspannung für das Bremsgitter von Rö 1 dar. Die elektronische Regelschaltung stabilisiert sämtliche wichtigen Spannungen. Die Ausgangsspannung der Regelschaltung kann an P_{13} abgenommen werden, die Schaltung selbst entspricht prinzipiell der Schaltung von Bild 170, auf deren Erläuterung hier verwiesen sei. Eine besondere Transformatorwicklung H_2 heizt die Röhre Rö 12, um einen Überschlag zwischen Katode und Faden zu vermeiden. Das trifft auch für die Heizung der Oszillografenröhre zu. Die Potentiometer P_9 und P_{10} dienen zur Einregulierung von Schärfe und Helligkeit.

Anschließend an die vorstehende ausführliche Schaltungsbeschreibung seien noch einige Hinweise für die Verdrahtung, den Aufbau und den Betrieb gegeben. So müssen die Röhren Rö 1 und Rö 2 mit den zugehörigen Schaltorganen eng zusammengebaut werden. Das trifft z. B. für $C_1...C_{16}$, S_2, P_2 usw.

zu. Die Kippkapazitäten werden am besten unmittelbar an die Kontakte von S_1 gelötet. Im Interesse einer kleinen Parallelkapazität sollen keine abgeschirmten Leitungen verwendet werden, ferner sind die Zuleitungen zu den Ablenkplatten so kapazitätsarm wie möglich zu halten. Die Bilder 176 und 177 gewähren einen Einblick in den Aufbau und die Verdrahtung. Während die schweren Schaltorgane und die Röhren auf einem Chassis angeordnet sein können, bringt man die Schalter, die Regler, das Meßinstrument und die Zeitskala auf einer Frontplatte an. Im übrigen gelten hinsichtlich des Aufbaues die allgemeinen, bereits in Abschnitt 1 dargelegten Richtlinien, die genauestens beachtet werden müssen. Soweit angängig, bringt man die kleineren Schaltorgane freitragend oder auf Lötösenleisten an. Der geübte Radiotechniker wird bei einigem Überlegen den richtigen und elektrisch zweckmäßigen Aufbau finden und kann sich dabei an die schon öfter in der Fachliteratur beschriebenen Aufbauarten von Oszillografen halten.

Zum Betrieb des Gerätes ist wenig zu sagen. Schärfe, Helligkeit, Amplitude, Synchronisierzwang usw. werden bei periodischem Betrieb wie üblich eingeregelt. Beim Triggern muß P_6 sorgfältig bedient werden; dieses Potentiometer soll so eingestellt sein, daß das Oszillogramm stabil auf dem Schirm steht und gleichmäßige Helligkeit aufweist. Sind die Steuerimpulse zu groß, so können Verzerrungen und Mehrdeutigkeiten auftreten. Die Einstellungen von P_6 und P_1 sind innerhalb gewisser Grenzen voneinander abhängig, was

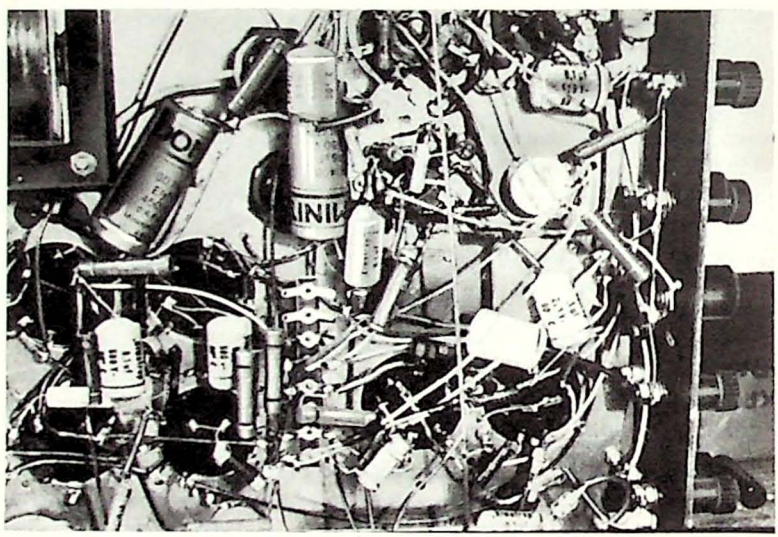


Bild 177: Teilansicht der Verdrahtung des Oszillografen

jedoch bei einiger Übung nicht stört. Geht man vom periodischen Betrieb zum Triggerbetrieb über, so muß der Helligkeitsregler nachgestellt werden, denn sonst ergibt sich wegen des Aufhellimpulses ein zu dick gezeichnetes Oszillogramm. An die bei großer Zeitdehnung auftretende Helligkeitsverringerung muß man sich zunächst gewöhnen, eventuell ist der Arbeitsraum etwas zu verdunkeln. Die Helligkeitsabnahme erklärt sich physikalisch leicht aus der gesteigerten Schreibgeschwindigkeit. Will man besonders helle, zeitgedehnte Oszillogramme, so muß man Röhren mit Nachbeschleunigung verwenden.

Beim Triggern ist zu beachten, daß die erste negative Flanke des Triggerimpulses den Hinlauf auslöst. Will man auch die Anfangsteile des Meßvorganges deutlich zur Darstellung bringen, so müssen Phasenschieber verwendet werden, von denen bereits auf S. 142 die Rede war. Es gibt hier relativ einfache elektronische Schaltungen, die besonders bei getriggerten Oszillogrammen wertvoll sind und von denen im 3. Abschnitt noch die Rede sein wird.

Zur Unterstützung des Verständnisses der nicht ganz einfachen Gesamtschaltung und als Beweis für die Leistungsfähigkeit des Oszillografen sollen nun noch einige Oszillogramme besprochen werden, die in den Bildern 178 bis 196 dargestellt sind. In Bild 178 ist der Verlauf der an P_2 entstehenden Kippspannung gezeigt. Das Bild beweist die sehr gute Linearität. Aus Bild 179 ist der Verlauf der Steuergitterspannung zu erkennen. Anschließend an die Stromübernahme wird das Gitter negativ, um dann langsam in Richtung positiver Werte zu wachsen. Beim Einsetzen des Rücklaufs springt die Spannung plötzlich auf positive Werte. Man sieht einwandfrei, daß die Gitterspannung während des Hinlaufs, d. h. während der Anodenspannungsabnahme, zunehmend positiver wird.

Bild 180 zeigt das Oszillogramm der Spannung am Schirmgitter während des periodischen Betriebes. Sobald der Rücklauf beendigt ist, springt die Schirmgitterspannung wegen des Stromübernahme-Effektes plötzlich hoch und wird während des Hinlaufs allmählich negativer. Nach dem zweiten Stromübernahmevorgang erreicht das Schirmgitter sprunghaft einen wesentlich höheren negativen Wert. Über die Kondensatoren C_9...C_{16} wird dieser Vorgang auf das Bremsgitter übertragen, für das Bild 181 gilt. Ein negativer Impuls dieser Form wäre für eine Strahlaustastung wegen der positiven Impulsteile nicht brauchbar. Werden die Dioden D_2 und D_3 jedoch eingeschaltet, so erhält man nach Bild 182 einen sehr scharf begrenzten Impuls in negativer Richtung als Spannungsabfall an R_{48}. Solche Impulse liefern eine absolut einwandfreie Ausblendung.

Besonders interessant sind die für den Triggerbetrieb geltenden Oszillogramme. Zunächst ist in Bild 183 der Spannungsverlauf an P_2 bei verhältnismäßig geringer Zeitdehnung dargestellt. In Übereinstimmung mit den Ausführungen auf S. 140 sind deutlich die drei für den Triggerbetrieb typischen

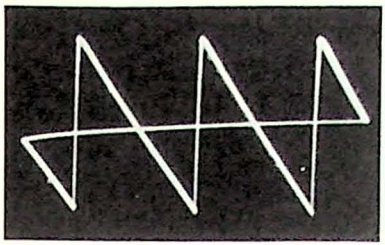
Zustände Rücklauf, Wartezeit und Hinlauf zu sehen. Wählt man eine stärkere Zeitdehnung, so bekommt man Bild 184. Die Wartezeit füllt hier den größten Teil der Periode aus, Hinlauf und Rücklauf sind sehr kurz. Die Schreibgeschwindigkeit des Strahls während des Hinlaufes ist demnach wesentlich größer als in Bild 183.

Bild 185 zeigt den für die Aufhellung im Triggerbetrieb benötigten positiven Impuls an R_{48}. Zum Hinlauf genügt der positive Abschnitt, in den negativen Abschnitt fallen Rücklauf und Wartezeit. Die zugehörigen Oszillogrammteile sind daher auf dem Leuchtschirm nicht zu sehen.

Die jetzt zu besprechenden Oszillogramme zeigen die Wirkungsweise der Zeitmarkenschaltung. In Bild 186 ist zunächst der Verlauf der Spannung an R_{46} zu sehen. Wird die Anode von Rö 8 gegenüber der Katode positiv, so öffnet die Röhre, und an R_{46} bildet sich der nachfolgende Teil-Hinlauf aus. Im vorliegenden Fall ist das letzte Drittel des vollen Hinlaufes wirksam. Bild 187 stellt die Rechteckspannung dar, die an dem Außenwiderstand R_{39} von Rö 9 auftritt. Dem Abfall der Spannung in Bild 186 entspricht die ansteigende Flanke, während der Rücklauf durch die steilere, fallende Flanke repräsentiert wird. Wenn man die Spannung an P_{12} variiert, so schwankt auch die Rechteckbreite nach Bild 187, denn nunmehr wird der Einsatzpunkt der ersten Flanke gegenüber der festliegenden Rücklaufflanke verschoben. Das entsprechende Oszillogramm zeigt Bild 188. Der Impuls kommt in Form eines höheren Niveaus der Zeitbasis zum Ausdruck, und zwar bis zum Ende des Hinlaufs. Die etwas kleinere Flankensteilheit des Anstiegs in Bild 188 gegenüber Bild 187 erklärt sich daraus, daß in Bild 187 zwei Perioden bei größerer Amplitude erscheinen.

Die Zeitmessung selbst kann man beispielsweise an Hand von Bild 189 verfolgen. Es handelt sich um das Oszillogramm einer Sinuskurve, und die Zeitmarke ist so einreguliert, daß sie nach der elften Periode erscheint.

Die jetzt zu erörternden Oszillogrammbilder zeigen die Wirkungsweise der Sanatron-Schaltung. In Bild 190a ist die Viertelperiode einer Sinusschwingung zeitgedehnt dargestellt, und zwar ohne Helltastung des Wehneltzylinders. Man erkennt demnach die Rücklauflinien und den zur Wartezeit gehörigen senkrechten Leuchtstrich. Bei eingeschalteter Helltastung (Schalter S_5) kommt nur der in den Hinlauf fallende Vorgang zur Darstellung, d. h. es bildet sich lediglich die Viertelperiode ab. Weiterhin zeigt Bild 191 das Vertikal-Oszillogramm des Fernsehsenders Wendelstein bei normaler Zeitablenkung. In Bild 192 dagegen wurde eine stärkere Zeitdehnung angewandt. Hier erscheint nun auf dem ganzen Schirm der in Bild 191 nur angedeutete Vertikalimpuls, so daß die Halbzeilenimpulse in diesem und in seiner Umgebung deutlich sichtbar werden. Bei noch größerer Zeitdehnung (Bild 193) werden die fünf



Links Bild 178: Spannung an der Anode von Rö 1

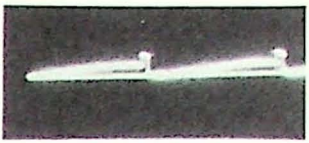


Bild 179: Spannung am Steuergitter von Rö 1

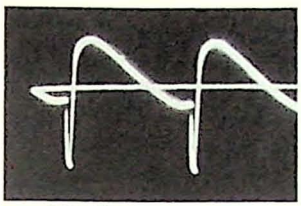


Bild 180: Spannung am Schirmgitter von Rö 1

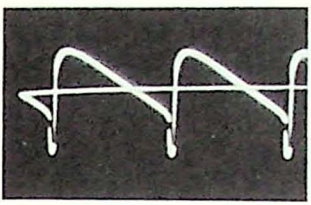


Bild 181: Spannung am Bremsgitter von Rö 1

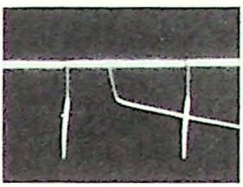


Bild 182: Impulse an R_{48} mit negativer Polarität

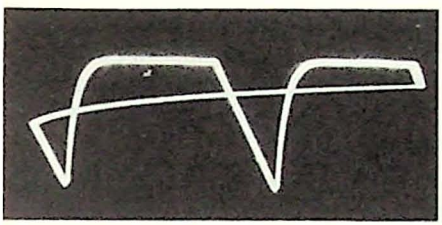


Bild 183: Kippspannung, schwache Zeitdehnung, Triggerbetrieb

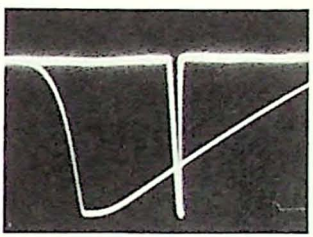
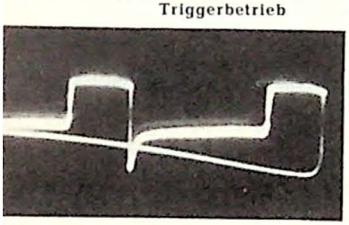
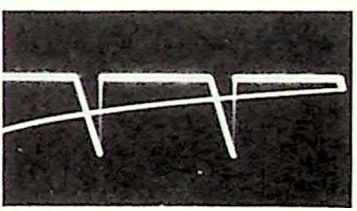


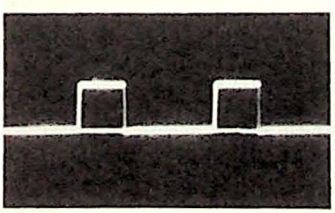
Bild 184: Kippspannung, starke Zeitdehnung, Triggerbetrieb



Links Bild 185: Impuls an R_{48}, posit. Polarität, Triggerbetrieb



Rechts Bild 186: Spannung an R_{46}



Links Bild 187: Spannung an R_{39}

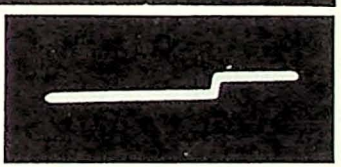


Bild 188: Meßimpuls, in Zeitbasis eingeblendet

Vortrabanten und die Halbzeilensignale noch weiter aufgelöst. Bild 194 zeigt das Vertikal-Oszillogramm hinter dem Amplitudensieb eines Empfängers bei periodischem Betrieb, Bild 195 dagegen dasselbe Bild bei starker Zeitdehnung. Während in Bild 194 der Vertikalimpuls nur als dünner Strich erscheint, löst Bild 195 alle darin enthaltenen Einzelheiten auf. Man sieht z. B., daß die Halbzeilenimpulse differenziert auftreten. Schließlich ist in Bild 196 noch der Spannungsverlauf am ersten Integrationsglied vor der Vertikalablenkung eines Fernsehempfängers dargestellt. Auch hier sieht man deutlich die dem Vertikalimpuls superponierten Horizontalsignale.

Sicherlich geben die Oszillogramme einen deutlichen Eindruck von der Vielseitigkeit und Leistungsfähigkeit der beschriebenen Schaltung. Ein Nachbau lohnt sich für Techniker mit ausreichender Vorbildung schon deshalb, weil Industrieoszillografen vergleichbarer Vielseitigkeit und Leistung für den Privatmann fast immer unerschwinglich sind und auch für die meisten kleineren Werkstätten aus Preisgründen unerreichbar bleiben. Deshalb ist der Aufbau einer solchen Schaltung in kleineren Werkstätten außerhalb der Saison, wenn also Zeit zur Verfügung steht, ohne Zweifel — auf weite Sicht gesehen — ein Gewinn. Selbstverständlich kann zwar ein Selbstbau-Oszillograf mit einem vergleichbaren Industrie-Oszillografen hinsichtlich Leistungsfähigkeit und Genauigkeit nicht konkurrieren; da man aber auf Präzisionsuntersuchungen oft verzichtet, wird die Ersparnis, die mit dem Selbstbau verbunden ist, in vielen Fällen den Ausschlag geben. Die Gestehungskosten für die Einzelteile der beschriebenen Schaltung liegen nur bei etwa DM 100.—.

Es sei noch erwähnt, daß das Mustergerät des Verfassers mit den deutschen Röhren annähernd äquivalenten amerikanischen Typen aufgebaut wurde. So fand anstelle der EF 80 die 6 AC 7, anstelle der ECC 82 die 6 SN 7 Verwendung. Besondere Abweichungen ergaben sich dadurch kaum.

3. Selbstbau-Elektronenstrahlschalter und Selbstbau-Phasenschieber für den Oszillografen

Die Anwendungsgebiete des vorstehend beschriebenen Oszillografen erweitern sich beträchtlich und die Vielseitigkeit wird auch in anderer Hinsicht gesteigert, wenn man sich noch das nachstehend beschriebene Zusatzgerät baut. Es enthält im wesentlichen einen Elektronenstrahlschalter, so daß die Aufnahme von Zweifach-Oszillogrammen möglich wird. Dieser Schalter kann gleichzeitig als selbständiger Rechteckgenerator für Untersuchungen an Verstärkern und für andere Zwecke herangezogen werden. Durch eine einfache Umschaltvorrichtung lassen sich auch Impulsreihen mit beliebig wählbarem Tastverhältnis herstellen. Weiterhin enthält die Anlage einen kontinuierlich regelbaren Phasenschieber, der beim Triggern häufig benötigt wird. Wir be-

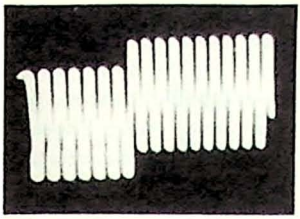


Bild 189: Sinusförmige Spannung (Meßimpuls eingeblendet)

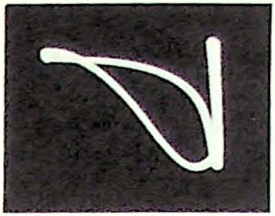


Bild 190 a: Viertelperiode einer Sinusspannung, Zeitdehn. ohne Hellsteuerung

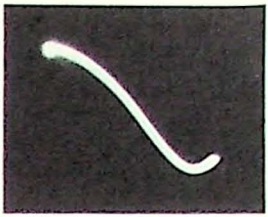


Bild 190 b: wie a, mit Hellsteuerung des Hinlaufs

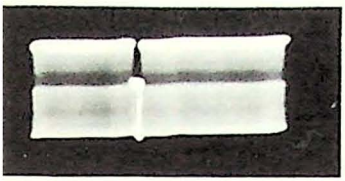


Bild 191: Vertikal-Fernsehoszillogramm, ohne Zeitdehnung

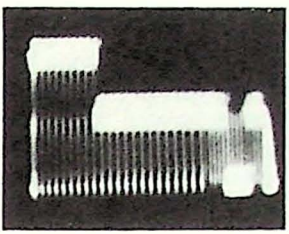


Bild 192: Vertikalimpuls mit Zeitdehnung

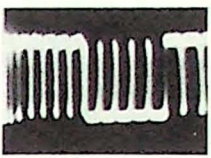


Bild 193: Vertikalimpuls mit starker Zeitdehnung

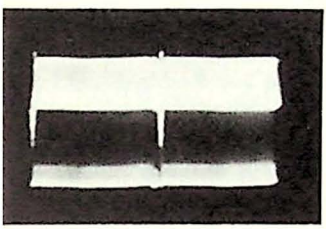


Bild 194: Vertikal-Oszillogramm ohne Zeitdehnung, hinter dem Amplitudensieb gewonnen

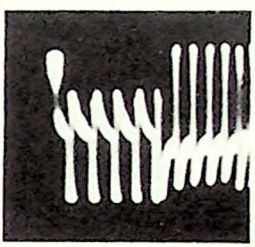


Bild 195: Vertikalimpuls-Oszillogramm mit Zeitdehnung nach Bild 194

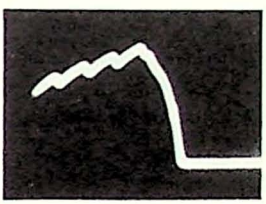


Bild 196: Spannung hinter dem ersten Integrationsglied eines Sperrschwingers für Vertikalablenkung

schreiben nachstehend auch dieses Gerät, das bereits an anderer Stelle [26]) vom Verfasser veröffentlicht wurde, in allen Einzelheiten. Es hat sich bei vielen Untersuchungen im Labor des Verfassers und an anderen Stellen bestens bewährt.

In Bild 197 ist die Gesamtschaltung dargestellt. Die Röhren Rö 3 und Rö 4 bilden einen symmetrisch oder auch unsymmetrisch arbeitenden, frei schwingenden Multivibrator, der impulsförmige oder rechteckförmige Signale abgibt.

[26]) Richter, Universelles Zusatzgerät zum Kurzzeitoszillografen. — Funk-Technik 1955, Heft 12, Seite 331.

Die Schaltröhren Rö 2 oder Rö 5 dienen zur Herstellung von Zweifach-Oszillogrammen; mit der Röhre Rö 6 kann der Abstand beider Oszillogramme einreguliert werden. Als Endstufe ist Rö 7 vorgesehen, mit der man die Spannungen hinreichend verstärkt. Eventuelle Synchronisiersignale können mit Rö 1 verstärkt und verzerrt werden. Ferner enthält das Gerät einen Phasenschieber, der Verschiebungen zwischen 0 und 360° erlaubt. Die Anordnung besteht aus der Vorwählstufe mit Rö 12 und einem monostabilen System mit Rö 13 und Rö 14/15. Die Netzsynchronisierung wird mit Hilfe von Rö 16 bewirkt, ferner ist ein elektronisch stabilisierter Netzteil mit Rö 8...Rö 11 vorgesehen.

Zunächst betrachten wir den Rechteckgenerator bzw. Impulserzeuger. Zur Schwingungserzeugung dienen die Steuergitter-Schirmgitter-Katodensysteme von Rö 3 und Rö 4, die Ausgangsspannung wird jedoch an den Anodenwiderständen abgenommen. Da die Anoden ferner an einer kleineren Betriebsspannung liegen (Spannungsabfall an R_1), geht die Anodenspannung annähernd bis zur Restspannung zurück. Dadurch lassen sich die störenden, für jeden Multivibrator charakteristischen Umladeerscheinungen unterdrücken. Wie die Oszillogramme Bild 198 und 199 zeigen, sind die Spannungen sehr sauber begrenzt. Liegt die Folgefrequenz unter etwa 1 kHz, so treten die senkrechten Flanken im Schirmbild nicht mehr in Erscheinung. Mit Hilfe von S_2 kann die Rechteckfrequenz in sechs Stufen eingestellt werden; für die Feinregelung dient ein Doppelpotentiometer $P_1P'_1$. Gleichartige Widerstandskennlinien dieser Potentiometer vorausgesetzt, bleibt das Zeitkonstantenverhältnis beim Regeln erhalten, so daß sich auch an der Symmetrie der Rechteckspannung nichts ändert. Um kleinere Abweichungen beseitigen zu können, ist ein zweites Doppelpotentiometer $P_2P'_2$ vorgesehen. Es muß gegenläufig geschaltet werden, so daß sich bei einer festgelegten Drehrichtung der Widerstand der einen Hälfte erhöht, der der anderen Hälfte dagegen verringert. Dieser Regler dient außerdem zum Einstellen des Tastverhältnisses von Impulsspannungen, wobei S_1 auf „Impuls" stehen muß. Dann sind die Gitterkondensatoren in der linken Hälfte des Multivibrators kleiner, so daß dieser unsymmetrisch arbeitet. An den Anschlüssen „Rechteck I" und „Rechteck II" entstehen in diesem Fall Impulse positiver bzw. negativer Polarität. Steht dagegen S_1 auf „Rechteck", so liefern die Anschlüsse Rechteckspannungen.

Die schon erwähnten Schaltröhren Rö 2 und Rö 5 werden gitterseitig mit jeweils zwei verschiedenen Vorgängen gesteuert, die als Zweifachoszillogramme erscheinen sollen. Die Spannungen werden an die Eingänge I und II gelegt. Eine Änderung der Verstärkung der Röhren EF 85 ist mit P_3 und P_4 möglich. Damit bei der Wiedergabe von Impulsen keine Verzerrungen durch Zeitkonstanten auftreten, werden die Widerstände nicht überblockt. Die in dem Multivibrator erzeugten Rechteckspannungen werden, jeweils um 180°

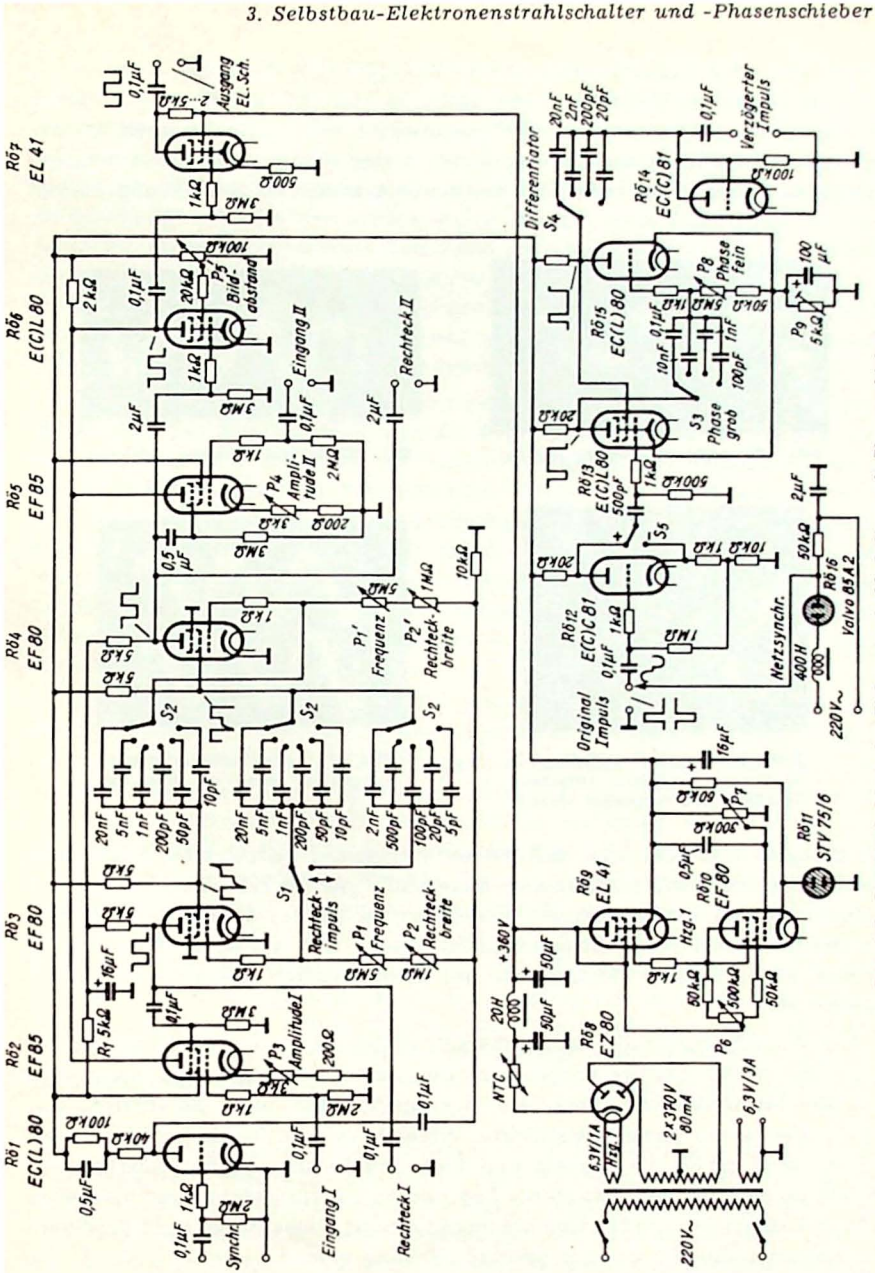


Bild 197: Gesamtschaltbild des Elektronenstrahlschalters mit Phasenschieber

verschoben, den Bremsgittern von Rö 2 und Rö 5 zugeführt. Als Folge davon wird in der einen Halbperiode die erste, in der anderen die zweite Röhre geöffnet bzw. verriegelt. Beide Röhren besitzen einen gemeinsamen Außenwiderstand (2 kΩ), so daß an diesen die zu den beiden Oszillogrammen gehörenden Spannungen auftreten. Bei der konstruktiven Ausführung kommt

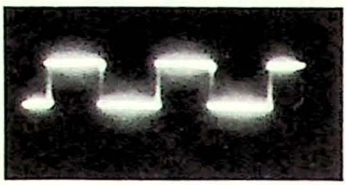


Bild 198: Rechteckspannung (3 kHz)

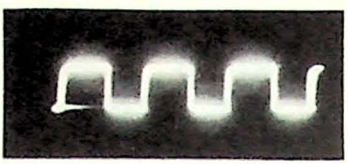


Bild 199: Rechteckspannung (30 kHz)

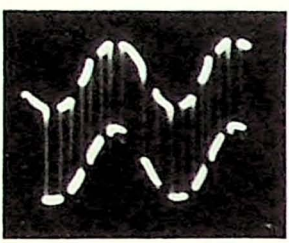


Bild 200: Doppel-Oszillogramm, zu kleines Verhältnis zwischen Umschalt- und Vorgangsfrequenz

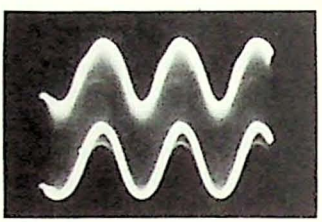


Bild 201: Vorteilhaftes Frequenzverhältnis, sonst wie Bild 200

es übrigens sehr darauf an, daß die am Bremsgitter auftretenden Schaltstöße die Steuergitter nicht beeinflussen; andernfalls machen sich diese Stöße durch „Zipfel" in den Oszillogrammen bemerkbar, da sie das differenzierte Bremsgittersignal darstellen. Gegebenenfalls lassen sich solche Einflüsse durch kleine Kapazitäten — ähnlich wie bei kompensierten Spannungsteilern — beseitigen.

Um die Schaltung möglichst universell zu gestalten, ist eine Synchronisierung des Multivibrators vorgesehen. Die synchronisierende Spannung wird in die Multivibrator-Gitterkreise gekoppelt. Man legt die Enden von $P_2P'_2$ über einen gemeinschaftlichen Widerstand von 10 kΩ an Masse, der Widerstand erhält die Signale von Rö 1. Die Bemessung der Schaltorgane wurde so gewählt, daß eine starke Begrenzung auftritt. Infolgedessen ergeben sich besonders bei starker Übersteuerung scharfe Umkehrpunkte in der Spannungskurve, die sich gut zur Synchronisierung eignen.

Bei der Darstellung von Zweifach-Oszillogrammen müssen sich die Bilder vertikal gegenseitig verschieben lassen; nur dann ist eine eindeutige Auswertung möglich. Zur Herstellung dieser Verschiebung wird das Steuergitter von Rö 6 von der Spannung der rechten Multivibratorhälfte getastet. Die Röhre gibt immer nur während der einen Rechteck-Halbwelle Anodenstrom ab und bleibt während der anderen außer Betrieb. Auch diese Röhre hat den Schaltröhren-Außenwiderstand von 2 kΩ als Arbeitswiderstand, so daß sich eine zusätzliche Ablenkung des Strahles der Oszillografenröhre während der Dauer einer Halbwelle ergibt. Auf diese Weise kommt die angestrebte Bildverschiebung zustande. Der Bildabstand läßt sich mit Hilfe von P_5 kontinuierlich einregeln, da die Schirmgitterspannung von Rö 6 verändert wird.

Wir besprechen nunmehr die Endstufe mit der Röhre Rö 7. Ihrem Steuergitter wird das Spannungsgemisch am gemeinsamen Außenwiderstand von Rö 2, Rö 5 und Rö 6 zugeleitet. Um Impulsverformungen zu verhindern, bleibt der Katodenwiderstand nicht blockiert. Der Wert des Außenwiderstandes von Rö 7 bestimmt einerseits die Ausgangsamplitude, anderseits die Bandbreite des Systems. Größere Widerstände (etwa 5 kΩ) geben größere Amplituden, aber kleinere Bandbreiten, kleinere Widerstände (bis etwa 2 kΩ) liefern große Bandbreiten, verringern jedoch die Ausgangsamplitude. Diese ist in allen Fällen groß genug, um die Meßplatten des Oszillografen weit genug aussteuern zu können.

Die gewählte Schaltung gestattet verschiedenartige Betriebsarten des Elektronenstrahlschalters. Der Multivibrator erzeugt Folgefrequenzen zwischen etwa 5 Hz und 30 kHz, so daß das Verhältnis zwischen Umschaltfrequenz und Vorgangsfrequenz weitgehend variiert werden kann. Sollen niederfrequente Vorgänge bis ungefähr 200 Hz zur Darstellung gelangen, so wählt man die Umschaltfrequenzen möglichst hoch, während man bei Vorgängen mit höherer Frequenz besser umgekehrt vorgeht. Bei zu kleinem Verhältnis zwischen Umschaltfrequenz und Vorgangsfrequenz erhält man eine nicht ausreichend feine Auflösung des Vorgangs, wie sich aus Bild 200 ergibt. Die Oszillogramme werden jedoch bei genügend großem Frequenzabstand absolut einwandfrei (s. z. B. Bild 201). Zwischen den Oszillogrammen treten hauchdünne Schleier auf, die nicht stören und von den Umschaltflanken herrühren. Gegebenenfalls kann das etwas irritierende Wandern der Umschaltlücken durch Synchronisation des Multivibrators mit der Vorgangsfrequenz unterdrückt werden.

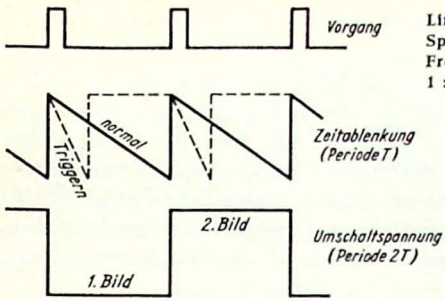
Will man Zweifachoszillogramme bei gleichzeitiger Zeitdehnung erzeugen, so empfiehlt sich eine dritte Betriebsart des Elektronenstrahlschalters. Ist die Folgefrequenz bei Zeitdehnung klein, die Umschaltfrequenz aber hoch, so wird diese ebenfalls zeitgedehnt. Das ist mit mehrdeutigen Bildern verbunden. In solchen Fällen macht man vorteilhafterweise die Umschaltfrequenz

genau halb so groß wie die Vorgangsfrequenz. Nach Bild 202 wird dann der vollständige erste Vorgang von der einen, der zweite von der anderen Multivibrator-Halbwelle abgebildet. Die Zeitdehnung wird demnach eliminiert. In Bild 203 ist das erwähnte Frequenzverhältnis unter der Voraussetzung dargestellt, daß die Oszillografen-Ablenkfrequenz die halbe Vorgangsfrequenz aufweist. Um gute Ergebnisse zu erhalten, muß man auf besten Synchronismus und gute Phasenkonstanz zwischen den Frequenzkomponenten achten.

Wie schon an verschiedenen Stellen dieses Buches erwähnt, ergeben sich in Zusammenhang mit der Zeitdehnung verschiedene Sonderforderungen. So wünscht man gerne besonders interessierende Einzelheiten des Bildes in die Mitte der Zeitlinie zu schieben. Auch ist häufig der Beginn des Vorganges von Interesse, beispielsweise die Anstiegsflanke eines kurzzeitigen Impulses, der nur einen kleinen Bruchteil der Vorgangsperiode ausfüllt. Die gewünschte Einstellung läßt sich mit einem stetig veränderlichen Phasenschieber durchführen, den man zwischen die Vorgangsspannung und den Synchronisieranschluß des Kippgerätes im Oszillografen schaltet. Deshalb wurde in das hier beschriebene Vorsatzgerät eine monostabile Multivibratorschaltung eingebaut, die aus den Röhren Rö 13...Rö 15 und den zugehörigen Schaltelementen besteht. Wir wollen an Hand von Bild 204 die interessante Wirkungsweise näher verfolgen.

Solange der Phasenschieber nicht gesteuert wird, hat Rö 15 vollen Anodenstrom, denn das Steuergitter führt Katodenpotential. Wegen des an P_9 auftretenden Spannungsabfalles ist Rö 13 verriegelt. Wenn nun über ein Differenzierglied ein negativer Impuls U_e auf das Steuergitter von Rö 13 trifft, so kann sich die Vorderflanke nicht auswirken, weil sie nur zu einer noch weiter ins Negative gehenden Aussteuerung von Rö 13 führt. Dagegen kippt die Rückflanke die Schaltung um, denn das Steuergitter von Rö 15 wird plötzlich negativ, was zur Verriegelung dieser Röhre führt. Folglich steigt die Spannung U_{a2} bis zur Speisespannung an, dagegen fällt U_{a1} von Rö 13 stark ab. Entsprechend der Gitterkreis-Zeitkonstante wird aber U_{g2} langsam positiver. Ist die Sperrspannung von Rö 15 erreicht, so kippt die Schaltung neuerdings in den alten Zustand zurück. Der Zeitpunkt, zu dem dies erfolgt, hängt lediglich von der Gitterkreis-Zeitkonstante der Röhre Rö 15 sowie von den (hier zu vernachlässigenden) Röhrendaten ab. Durch Differenzierglieder läßt sich aus der abfallenden Flanke von U_{a2} ein gegenüber dem ursprünglichen Vorgang verzögerter Impuls ableiten. Mit Hilfe der durch S_3 wählbaren Gitterkondensatoren kann man die Verzögerungszeit in Stufen, mit P_8 kann man sie kontinuierlich einstellen, wie aus Bild 197 hervorgeht. Es ergibt sich so im Idealfall eine stetige Phasenregelung zwischen 0 und fast 360°.

Die Bilder 205 und 206 veranschaulichen die Wirkungsweise der Einrichtung recht deutlich. Sie stellen Oszillogramme der Spannung U_{a2} nach Bild 204 dar.



Links Bild 202: Spannungsverlauf, Frequenzverhältnis 1 : 2

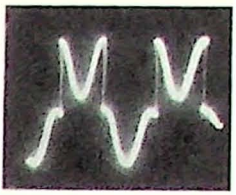
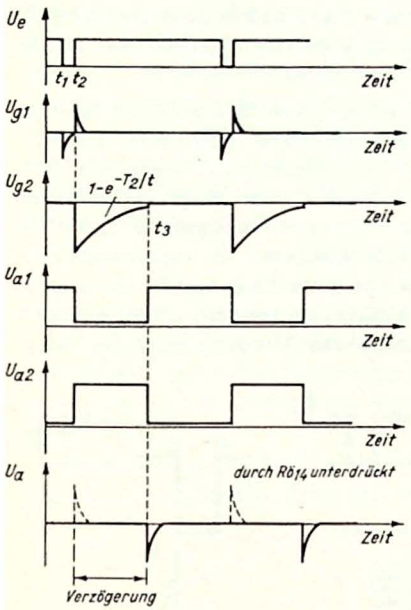


Bild 203: Aussehen des Schirmbildes bei Spannungsverlauf n. Bild 202



Links Bild 204: Verlauf der Impulse des Phasenschiebers

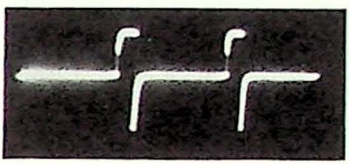


Bild 205: Verlauf der Anodenspannung an Rö 15, kleine Gitter-Zeitkonstante

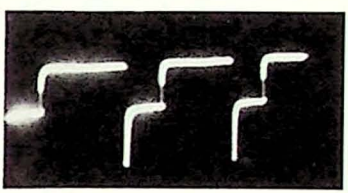


Bild 206: Wie Bild 205, größere Zeitkonstante

Gegenüber Bild 205 ist die Zeitkonstante in Bild 206 größer. Die Oszillogramme zeigen „Zipfel", die aber unschädlich sind und nicht beseitigt werden müssen. Zur weiteren Veranschaulichung ist in Bild 207 dargestellt, daß ein richtiges Arbeiten des Phasenschiebers bei einem positiven Rechteckimpuls verhindert wird. Wenn auch die Vorderflanke zunächst eine Auslösung bewirkt, so ruft die Rückflanke sofort ein zweites Umkippen hervor, so daß sich ein verzögerter Impuls nicht herstellen läßt. Wenn man aber parallel zum Widerstand des Differenziergliedes eine Diode legt, kann man gemäß Bild 208

und 209 den Phasenschieber sowohl von der Rück- als auch von der Vorderflanke aus beeinflussen.

Der im vorigen Abschnitt beschriebene Oszillograf braucht für eine einwandfreie Triggerung einen gut begrenzten Impuls negativer Polarität. Man gewinnt ihn aus der Rückflanke U_{a2} entsprechend Bild 204. Hierfür ist in der Gesamtschaltung nach Bild 197 ein umschaltbares Differenzierglied vorhanden, dem eine Abschneidediode folgt (S_4, Rö 14). Hinter dieser Diode entsteht der gewünschte Triggerimpuls. Um einen möglichst breiten Impulsfolge-Frequenzbereich mit dem Phasenschieber erfassen zu können, ist eine Grobumschaltung der Zeitkonstanten vorgesehen.

Damit sich der Phasenschieber bei beliebiger Polarität des Originalimpulses steuern läßt, wurde eine Phasen-Vorwählstufe Rö 12 angeordnet. Sie arbeitet als Katodenverstärker oder als Umkehrröhre, wobei sich die Polarität mit S_5 wählen läßt.

Beim Arbeiten mit starker Zeitdehnung werden sich in der Praxis manche zwar interessanten, aber auch störenden Erscheinungen bemerkbar machen. So ergibt sich z. B. ein nicht ganz ruhiges Leuchtschirmbild, wenn die Vorgangsfrequenz in der Größenordnung der Netzfrequenz liegt. Es genügen nämlich schon sehr kleine restliche Netz-Wechselspannungen in der Vorgangsspannung, um diese Erscheinung herbeizuführen. Es ergibt sich eine Verschiebung des Einsatzpunktes des Umkippens im Phasenschieber, woraus sich das etwas schwankende Leuchtschirmbild erklärt. Deshalb ist auf absolute Phasenstarrheit zwischen dem zu untersuchenden Vorgang und der Netz-

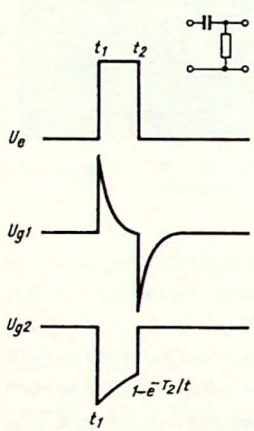


Bild 207: Spannungen am Phasenschieber, Rechteckimpuls positiv

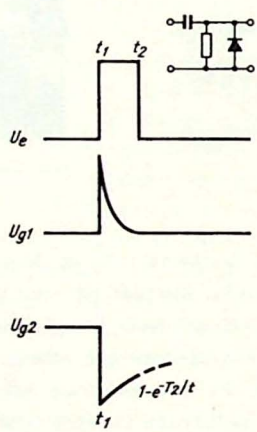


Bild 208: Einfluß einer Clipperdiode, Rechteckimpulse positiv

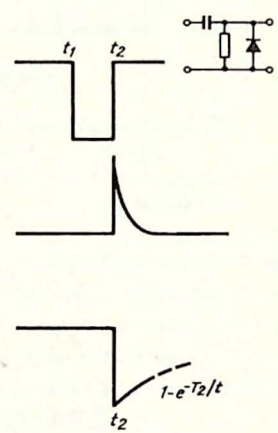


Bild 209: Wie Bild 208, Rechteckimpuls negativ

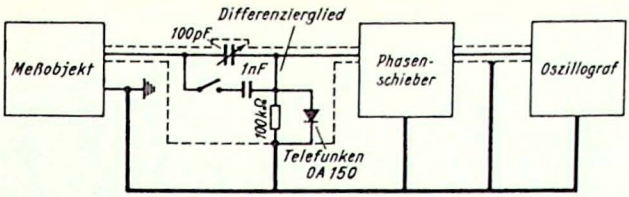


Bild 210: Differenziergerät, Prinzipschaltung

frequenz zu achten. Auch Störspannungen, die der Netzspannung sehr häufig überlagert sind und höhere Frequenzen aufweisen, können unangenehme Folgen haben. Zu ihrer Beseitigung ist in Bild 197 ein Tiefpaß vorgesehen, der durch eine Drossel von einigen hundert Henry verkörpert wird. Um eine exakte Synchronisierspannung zu erhalten, schaltet man in Reihe damit eine Glimmlampe und einen Widerstand, an dem man die Synchronisierspannung abnimmt. An diesem erscheint ein kurzer Impuls, sobald die Zünd- bzw. Löschspannung erreicht wird. Mit diesem Impuls synchronisiert man den zu untersuchenden Vorgang und erhält dann auch bei sehr großer Zeitdehnung absolut ruhige Oszillogramme.

Nicht immer läßt sich eine solche Netzsynchronisierung durchführen. Häufig kann z. B. die Vorgangsfrequenz nicht beeinflußt werden (Beispiel: Vertikalfrequenz beim Fernsehen), oder die zu untersuchenden Generatoren haben große Ausgangswiderstände. In solchen Fällen muß man eine Einstreuung von Resten der Netzwechselspannung besonders peinlich vermeiden. Sorgfältige Abschirmung der Zuleitungen und gute Erdung der Abschirmung selbst sind erforderlich.

Zur Steuerung des Phasenschiebers können auch Spannungen anderer Kurvenform, z. B. Sinusspannungen, herangezogen werden. Unstetigkeiten in der

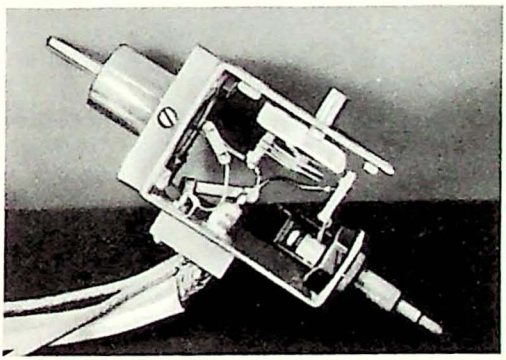


Bild 211: Ansicht des regelbaren Differenziergerätes

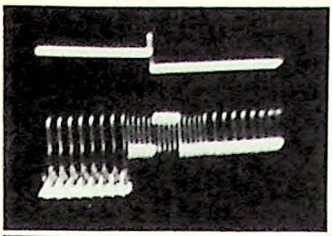
Vorgangsfrequenz lassen sich mit Differenziergliedern herausschälen und können dann zur Steuerung des Phasenschiebers verwendet werden. Sehr bewährt hat sich z. B. bei Versuchen des Verfassers ein kleines, in Bild 210 dargestelltes Zusatzgerät. Es besteht aus einem regelbaren Differenzierglied mit Abschneidediode, das in ein kleines Gehäuse eingebaut ist. Der Ausgang liefert in den meisten Fällen einen guten Impuls. In Bild 211 ist die Versuchsausführung dargestellt. Sehr wesentlich ist eine richtige Erdung der Abschirmungen.

Im Netzteil der Gesamtschaltung nach Bild 197 sind keine besonderen Maßnahmen getroffen. Außer dem Netztransformator, der Gleichrichterröhre Rö 8, einer Siebkette und den sonstigen Schaltmitteln ist allerdings ein elektronischer Stabilisator (Rö 9...Rö 11) erforderlich.

Um die Leistungsfähigkeit des Gerätes zu veranschaulichen, sind in den Bildern 212...216 verschiedene Oszillogramme dargestellt. So zeigt Bild 212 ein Doppeloszillogramm. Die obere Hälfte gibt den Impuls eines Fernsehempfänger-Sperrschwingers wieder, der vom Vertikalimpuls eines Senders synchronisiert ist. Das untere Bild zeigt diesen Impuls in schwacher Zeitdehnung. Wie man sieht, fällt die Vorderflanke des Vertikalimpulses mit dem Umkippen des Sperrschwingers zusammen; auch die Hilfsimpulse sind zu sehen. In den Oszillogrammen Bild 213 und 214 sind Sperrschwingerimpulse dargestellt, die aus zwei verschiedenen Schaltungspunkten stammen. In Bild 213, das ohne Zeitdehnung aufgenommen wurde, ist nicht viel zu erkennen; dagegen zieht das Oszillogramm Bild 214 alle wesentlichen Einzelheiten auseinander. Ein Beispiel für ein Doppeloszillogramm aus dem Horizontalteil eines Fernsehempfängers zeigt Bild 215. Der Abstand zwischen den Teilbildern ist relativ groß. Zur Feststellung des genauen Deckungspunktes der Bilder kann man den Abstand mit Hilfe von P_5 nach Bild 197 verändern und erhält dann eine bequeme Beurteilungsmöglichkeit entsprechend Bild 216.

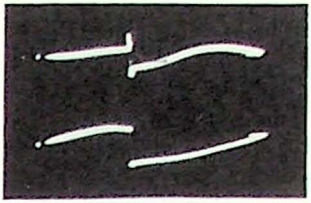
Es sei erwähnt, daß die Oszillogrammaufnahmen von einem Schirm der Valvoröhre DG 7-6 gewonnen wurden, und zwar teilweise mit erheblichen Belichtungszeiten von mehreren Sekunden. Daß sich trotzdem scharfe Aufnahmen erzielen ließen, ist als Beweis für den ruhigen Bildstand anzusehen.

Abschließend noch einige Hinweise für den Aufbau und die Verdrahtung. Im Versuchsgerät des Verfassers fanden sämtliche Einzelteile auf einer Aluminium-Grundplatte mit den Maßen $240 \times 200 \times 3$ mm Platz. Die Platte wurde vor einem entsprechenden Gehäuse angeordnet. Wie die Bilder 217 und 218 zeigen, ergibt sich ein kleines, handliches Gerät. In der Mitte von Bild 218 ist der Umschalter S_2 für den Multivibrator mit den angelöteten Gitterkondensatoren zu sehen, darüber befinden sich die besprochenen Doppel-Potentiometer. Der Netztransformator ist in der Mitte etwas schräg unten links zu erkennen. Um kapazitive Störfelder auszuschalten, erhielt er eine statische Abschirmung aus dünner Kupferfolie. Die den Phasenschieber bildenden Zeit-



Links Bild 212: Doppel-Oszillogramm, Sperrschwingerimpuls und Vertikalimpuls zeitgedehnt

Rechts Bild 213: Sperrschwingerimpulse ohne Zeitdehnung



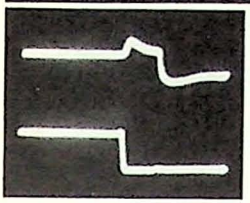


Bild 214: Wie Bild 213 mit Zeitdehnung

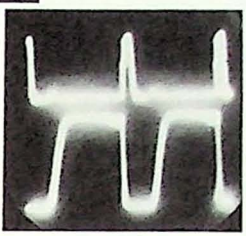


Bild 215: Beispiel eines Doppeloszillogramms (Horizontal-Ablenkteil in einem Fernsehempfänger, Bildabstand groß)

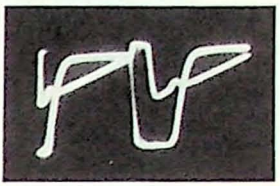


Bild 216: Wie Bild 215, Bildabstand klein

konstantenglieder sind ganz rechts zu erkennen. Die im stabilisierten Netzteil verwendete Glimmröhre Rö 11 wird gleichzeitig als Signallampe verwendet.

Der Frequenzbereich des Multivibrators ist nach oben vor allem durch die schädlichen Kapazitäten begrenzt. Man muß daher die Verdrahtung möglichst kapazitätsfrei machen und recht kurze Leitungen wählen, um die Anstiegs- oder Abfallflanken der Impulse nicht unnötig zu verschleifen. Die kleineren Schaltorgane wurden teilweise auf der Vorderseite der Frontplatte untergebracht. Um die Schaltkapazitäten nicht zu vergrößern, muß ein genügend großer Abstand zwischen diesen Schaltorganen und dem Vorderblech des Gehäuses vorhanden sein. Die größeren Teile einschließlich der Potentiometer können auf der Innenseite der Montageplatte befestigt werden.

Bei größerem Aufwand an Schaltmitteln ließe sich der hier beschriebene Elektronenstrahlschalter noch weiter verbessern, insbesondere hinsichtlich der oberen Grenze der Rechteckfrequenz. So erhält man noch kürzere Umschaltflanken mit Spezialröhren und kleineren Widerständen. Dann allerdings steigt auch der Bedarf an Speiseleistung und damit die Größe der Verlustleistung, was ganz zwangsläufig zu einem räumlich größeren Aufbau, zu einem leistungsfähigeren Netzteil usw. führt. Es ist daher zu überlegen, ob dieser Aufwand für einfachere Versuche, die in der Praxis des Radiotechnikers fast ausschließlich in Betracht kommen, vertreten werden kann. Im allgemeinen dürfte die Leistung der Schaltung ausreichen.

Nicht zu unterschätzen ist — nebenbei bemerkt — der ideelle Gewinn, der sich bei der Beschäftigung mit Schaltungen der hier besprochenen Art ergibt. Es handelt sich um typische elektronische Impulsschaltungen, die auch im weiten Rahmen der Elektronik in allen nur denkbaren Zusammenhängen wiederkehren. Wer die beschriebenen Schaltungen aufbaut und gründlich, vor allem auch am Labortisch, durcharbeitet, wird auch die verschiedensten Schaltungsvarianten in anderem Zusammenhang schnell verstehen und beherrschen lernen. Auf den sich daraus ergebenden Nutzen, beispielsweise in beruflicher Hinsicht, braucht wohl nicht besonders hingewiesen zu werden.

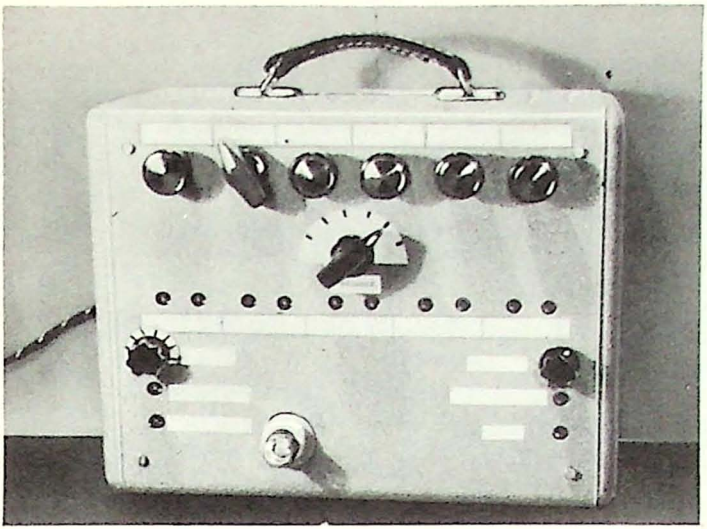


Bild 217: Das Äußere des Gerätes

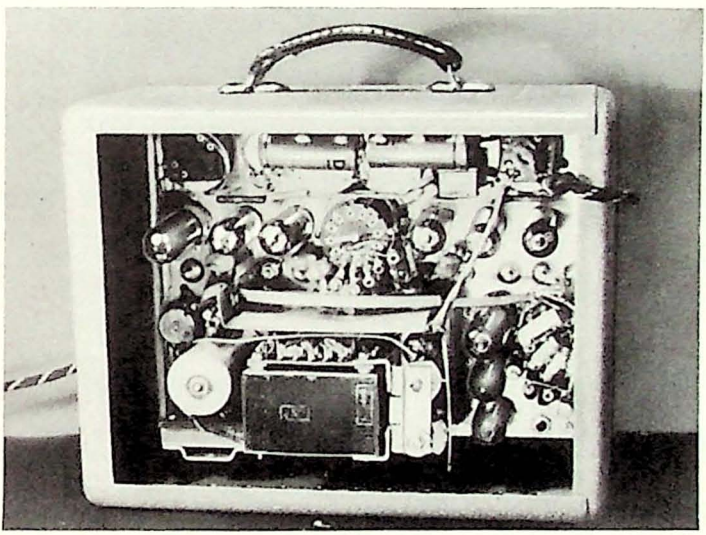


Bild 218: Das Innere des Gerätes

Literatur

Ältere, vorerst nicht neu aufgelegte Werke über Katodenstrahloszillografen und artverwandte Geräte:

Alberti: Braunsche Kathodenstrahlröhren und ihre Anwendung, 1932, Springer, Berlin.

v. Ardenne: Die Kathodenstrahlröhre und ihre Anwendung in der Schwachstromtechnik, 1933, Springer, Berlin.

Rider-Richter: Die Kathodenstrahlröhre, 1938, Franckh, Stuttgart.

Richter: Elektrische Kippschwingungen, 1940, Hirzel, Leipzig.

In der Nachkriegszeit erschienene Buchveröffentlichungen:

Czech: Der Elektronenstrahl-Oszillograf. — 1955, Berlin, Verlag für Radio-Foto-Kinotechnik G.m.b.H.

Hintzbergen: Der Oszillograph und seine Anwendungen, 1952, Philipsdruckschrift.

Klein: Elektronenstrahl-Oszillographen, Band I, 1948, Weidmann, Berlin.

Klein: Elektronenstrahl-Sichtgeräte in Technik und Medizin, 1952, Weidmann, Berlin (dieses Werk enthält eine gründliche Zusammenfassung aller oszillografischen Anwendungen und ein sehr reichhaltiges Literaturverzeichnis).

Möller: Die Braunsche Röhre, 1949, Jacob Schneider-Verlag, Berlin.

Nentwig: Die Kathodenstrahlröhre.

Theile-Weyres: Grundlagen der Kathodenstrahlröhren.

Auszug aus neueren Zeitschriften-Veröffentlichungen

Das nachstehende Verzeichnis berücksichtigt auszugsweise und ohne Anspruch auf Vollständigkeit in alphabetischer Reihenfolge verschiedene Zeitschriften-Veröffentlichungen, die vor allem für den Praktiker lesenswert sind. Von der Aufnahme von Arbeiten rein theoretischer Art haben wir Abstand genommen. Das Verzeichnis berücksichtigt Arbeiten, die etwa seit 1950 erschienen sind. Weitere Zeitschriften-Literatur findet sich in den angegebenen Buchveröffentlichungen.

Berthold: Messung des Leuchtschirmpotentials von Elektronenstrahlröhren, NTZ, 1955, Heft 1, Seite 19.

Bongartz: Einfache Schaltungen für Versuche mit Elektronenstrahl-Oszillografen, Funkschau, 1952, Heft 20, Seite 406.

Carpentier: Ein leicht transportabler Kathodenstrahloszillograph, Philips' technische Rundschau, Band 11, 1949/50, Heft 4, Seite 111.

C. R.: Elektronenstrahl-Zählröhre, radio mentor, 1952, Heft 5, S. 224.

Czech: Darstellung der Vorderflanke von impulsförmigen Meßspannungen mit Oszillografen ohne Verzögerungselemente im Meßverstärker, Industrie-Elektronik 1957, Heft 1, Seite 16.

Dietrich: Der Blauschreiber, ein neues Gerät zum Aufzeichnen nichtperiodischer Vorgänge, NTZ, 1956, Heft 11, Seite 504.

Diko: Der Wobbler, radio-mentor, 1951, Heft 6, Seite 276.

Dorf: Non-clipping Wave Square, Radio and Television News, 1956, Heft 3, Seite 130.

E. N.: Fernsehablenkschaltungen im Oszillogramm, Funk-Technik, 1951, Heft 17, Seite 474.

Fahlenberg: Wie verwendet man Katodenstrahlröhren mit magnetischen und gemischten Ablenksystemen für normalen Oszillografenbetrieb? Funkschau, 1950, Heft 19, Seite 315.

Feigs: Die Messung von Phasenwinkeln mit dem Katodenstrahloszillografen, Funk-Technik, 1951, Heft 12, Seite 325.

Ferroni: Neuerungen auf dem Gebiet der Elektronenstrahl-Oszillographen, Siemens-Zeitschrift, Band 25, 1951, Heft 5, Seite 233.

Fleischer: Kleinst-Oszillograf für den Fernseh-Service, Funkschau, 1957, Heft 1, Seite 13.

Fleming: Multivibrator 500 Kc Sweep Circuits, Electronics, 1956, Heft 2, Seite 186.

Glattner: Grundig-Werkstatt- und Service-Oszillograf, Funkschau, 1953, Heft 11, Seite 210.

gs.: Verjüngung von Katodenstrahlröhren, Funk-Technik, 1953, Heft 1, Seite 9.

Gundert und **Schaffernicht:** Neue Oszillografenröhren von großer Helligkeit und Ablenkempfindlichkeit, Elektronische Rundschau 1957, Heft 4, Seite 107.

Hantsche: Ein Kippspannungsverstärker mit Zeitdehnung, Elektronik, 1956, Heft 8, Seite 223.

Heller: Gerät zur unmittelbaren Übertragung von Zeichnungen auf den Schirm von Blauschriftröhren, Elektronik, 1956, Heft 4, Seite 100.

Hermann: Oszillografen für Forschung, Entwicklung, Fertigung und Service, Funkschau, 1955, Heft 23, Seite 534.

Herrnkind, Oszillografenröhren, Elektronik, 1956, Heft 8, Seite 213.

Hille: Fotografische Aufnahme- und Registriermaterialien für technische Zwecke, Elektronik, 1956, Heft 9, Seite 236.

Hille: Konstruktive Gesichtspunkte beim Bau von Elektronenstrahl-Oszillografen, Funkschau, 1957, Heft 1, Seite 11.

Hille: Praktischer Sägezahngenerator, Funkschau, 1955, Heft 1, Seite 9.

Hintzbergen: Der Oszillograph und seine Anwendungen, Philips-Druckschrift.

Huber: Neuer Polarkoordinaten-Oszillograf, Funkschau, 1952, Heft 3, Seite 49.

Janssen: Ein experimenteller „stroboskopischer" Oszillograph für Frequenzen bis ungefähr 50 MHz, Philips' technische Rundschau, Band 12, 1950/51, Heft 2, Seite 52.

Klein: Ein neuer Trägerfrequenz-Meßverstärker für Elektronen- und Lichtstrahl-Oszillografen, radio-mentor, 1954, Heft 7, Seite 374.

Klein: Elektronenstrahl-Oszillografen, Elektronik 1956, Heft 6, Seite 155.

Klein: Elektronen-Zweistrahloszillograf zur Aufnahme langsamer Vorgänge, Funkschau, 1950, Heft 1, Seite 19.

Klein: Schaltungstechnik der Elektronenstrahl-Oszillografen, Elektronik, 1956, Heft 8, Seite 202.

Kühne: Katodenstrahl-Oszillograf KO 1, Radio-Magazin, 1952, Heft 3, Seite 75.

Legler: Oszillografen für den Fernseh-Sendebetrieb, Elektronik, 1956, Heft 8, Seite 206.

Lehnert: Zeitablenkgerät für Elektronenstrahl-Oszillografen, Funkschau, 1951, Heft 4, Seite 71.

Lennartz: Ein Rasteroszillograf, Funkschau, 1955, Heft 7, Seite 139, und Heft 9, Seite 187.

Lennartz: Oszillografie mit Fernsehbildröhren, Funkschau, 1955, Heft 4, Seite 69.

Lennartz: Oszillografische Frequenzmessung mit linearem Zeitmaßstab, Funkschau, 1954, Heft 4, Seite 63.

Lennartz: Oszillografisches Mehrdekadensystem zur Zeitmessung, radio-mentor, 1953, Heft 1, Seite 25.

Limann: Resonanzkurvenschreiber mit magnetischer Wobbelung, Radio-Magazin, 1951, Heft 9, Seite 292.

Macek: Die Bedeutung der Frequenzkennlinie und Anstiegszeit bei modernen Breitband-Oszillografen, radio-mentor, 1952, Heft 11, Seite 541.

Macek: Die Bedeutung der Signal-Laufzeit im Verstärker bei modernen Breitband-Oszillografen, radio-mentor, 1952, Heft 12, Seite 596.

Mangelsdorf: Magnetischer Impulsgeber zur Dunkelpunktsteuerung von Elektronenstrahl-Oszillografen, Elektronik, 1956, Heft 9, Seite 243.

Mangold: Moderne Breitbandoszillographen, Rohde u. Schwarz-Mitteilungen, 1952, Heft 2, Seite 98.

Maroun: Auswerten von Leuchtschirmbildern mit einem Nachzeichengerät, Elektronik, 1956, Heft 7, Seite 178.

Munk: Sägezahnspannung hoher Linearität, FTZ, 1955, Heft 1, Seite 35.

Nagel und Leidholdt: Der Elektronenstrahl-Oszillograf „Oscillarzet" in der Fernsehtechnik Elektronik, 1956, Heft 7, Seite 179.

Perotti: Il Problema della Deflessione Orizzontale Negli Oszillografi a Raggi Catodici, Elettronica, 1956, Heft 1, Seite 21.

Pfeifer: Elektronisch geregeltes Netzgerät mit besonders konstanter Ausgangsspannung, Funk-Technik, 1955, Heft 12, Seite 334.

Renardy: Signalverfolgung mit dem Katodenstrahloszillograf, Funkschau, 1952, Heft 7, Seite 130.

Richter: Ein Beitrag zur Zeitdehnung von Oszillogrammen, Funk-Technik, 1955, Heft 6, Seite 151.

Richter: Ein Oszillograf für einfache Impuls- und Kurzzeituntersuchungen, Funk-Technik, 1955, Heft 3, Seite 66, und Heft 4, Seite 105.

Richter: Universelles Zusatzgerät zum Kurzzeitoszillografen, Funk-Technik, 1955, Heft 12, Seite 331.

Rodrian: Ein Zeitablenkgerät für einmalige Vorgänge, Funk-Technik, 1955, Heft 1, Seite 12.

Rottgardt: Blauschriftröhren, FTZ, 1954, Heft 5, Seite 249.

R. S.: Neuzeitlicher Resonanzkurvenschreiber, Funkschau, 1950, Heft 24, Seite 417.

Schanz: Einfacher Hochspannungsnetzteil für Kleinoszillografen, Radio-Magazin, 1953, Heft 1, Seite 24.

Schiertz: Uber die oszillografische Darstellung von Kontakt-Prellungen und Übergangswiderständen, radio mentor, 1951, Heft 1, Seite 26.

Schwalgin: Ablenksysteme von Oszillografenröhren für Meßzwecke, radio-mentor 1957, Heft 3, Seite 139.

Specht: Verstärkungs-Regelung in Breitband-Verstärkern, Elektronik, 1956, Heft 9, Seite 246.

Specht: Zeitablenkschaltung mit zwei Doppeltrioden, Elektronik, 1956, Heft 9, Seite 247.

Strohschein: Oszillografen-Schaltungen, Funk-Technik, 1951, Heft 10, Seite 272.

Taeger: Sägezähne und ihre Linearität, radio-mentor, 1953, Heft 1, Seite 23.

Thiele, Trigger-Zusatzgerät für Oszillografen, Funk-Technik, 1956, Heft 16, Seite 469.

Tröger: Die Entwicklung des Elektronenstrahl-Oszillografen und ihre Grenzen, ATM, Lieferung 240, Januar 1956, Seite R 1.

Tröger: Zwei neue Elektronenstrahl-Oszillografen für Laboratorium und Werkstatt, Siemens-Zeitschrift, 1955, Heft 9, Seite 377.

Van Bergen: Eine potentialunabhängige Eingangsschaltung für Elektronenstrahl-Oszillografen, Elektronik 1952, Heft 2/3, Seite 61.

Walther, Werner und **Zwiebel:** Miniatur-Oszillograf für den Fernseh-Service, radio-mentor, 1954, Heft 11, Seite 606.

Weitzenmiller, Der elektronische Schalter und seine Anwendung im Vielfachoszillografen, Multiskop und Multi-Recorder, Elektronik, 1956, Heft 8, Seite 219.

Zetzmann: Der Elektronenstrahl-Oszillograf gehört zum Fernseh-Service, Funkschau, 1955, Heft 8, Seite 167.

Ohne Verfasserangabe:

Das Deflektron: Eine Oszillografenröhre mit verschachtelten Ablenkplatten, Funkschau, 1952, Heft 24, Seite 482.

Die Bildgüte einer neuzeitlichen Oszillografenröhre, Telefunken-Zeitung, 1956, Heft 112, Seite 124.

FTO 1, Elektronenstrahl-Oszillograf, Funk-Technik, 1950, Heft 10, Seite 306 (mit anschließender Fortsetzungen).

Katodenstrahl-Oszillograf KO 1 auch mit DG 9—3, Radio-Magazin, 1952, Heft 7, Seite 217.

Katodenstrahlröhren, radio-mentor, 1952, Heft 10, Seite 485.

Oszillografenröhre zur Registrierung von Meßwerten, Funkschau, 1953, Heft 4, Seite 59.

Oszillograf mit automatischer Zeitablenkung, radio-mentor, 1953, Heft 2, Seite 76.

Schaltungseinzelheiten eines Kleinoszillografen, Elektronik, 1956, Heft 8, Seite 225.

Telefunken-Katodenstrahlröhren für Meßzwecke, Funkschau, 1953, Heft 7, Seite 119

Atlas der Oszillogramme

Atlas der Oszillogramme

Bild A 1

Bild A 2

Bild A 3

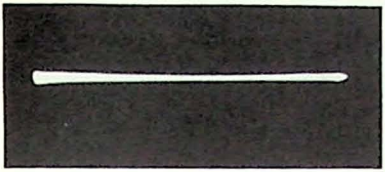


Bild A 4

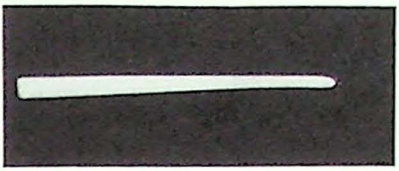


Bild A 5

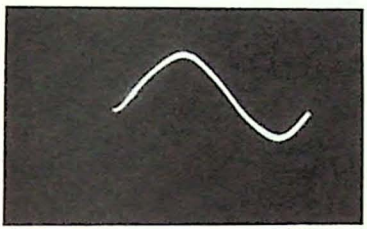


Bild A 6

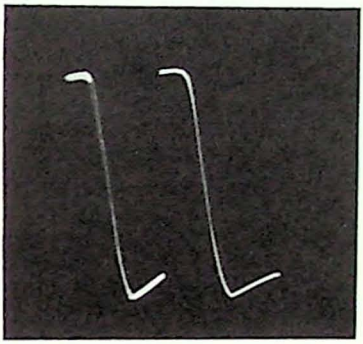


Bild A 7

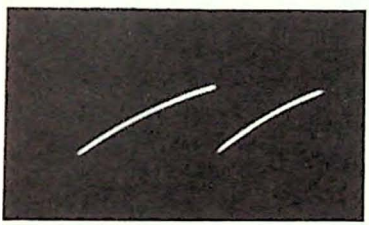


Bild A 8

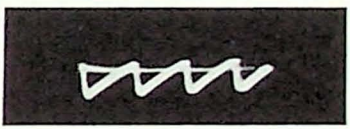


Bild A 9

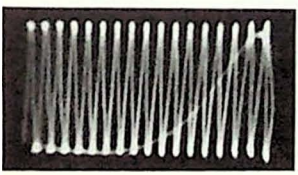


Bild A 10

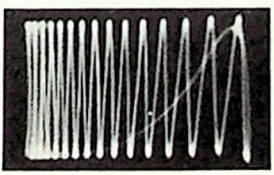


Bild A 11

Bild A 12

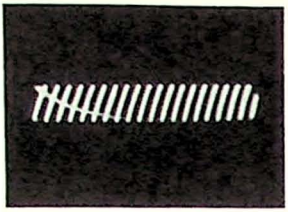


Bild A 13

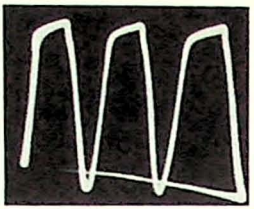


Bild A 14

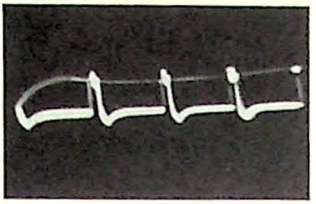


Bild A 15

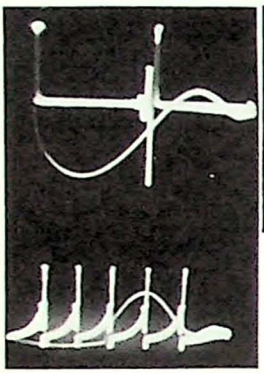


Bild A 16

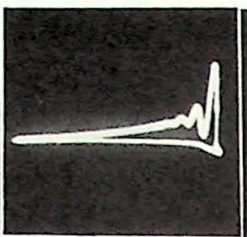


Bild A 17

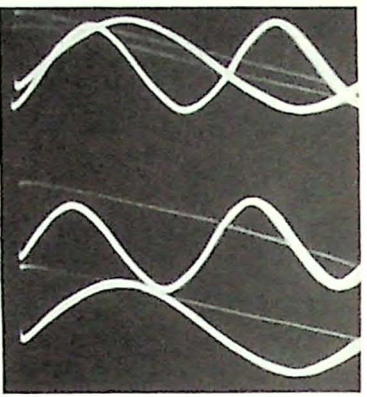


Bild A 18

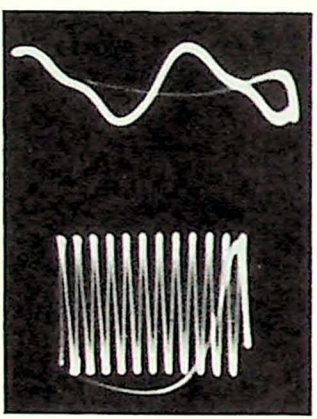


Bild A 19

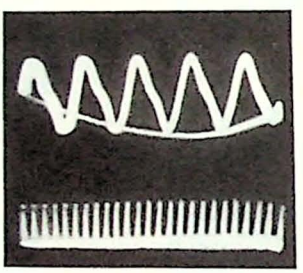


Bild A 20

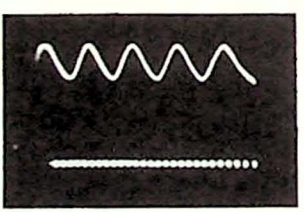


Bild A 21

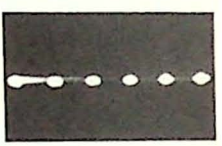


Bild A 22

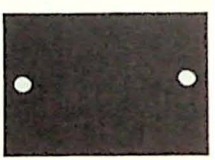


Bild A 23

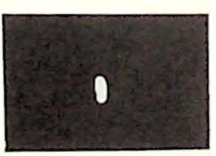


Bild A 24

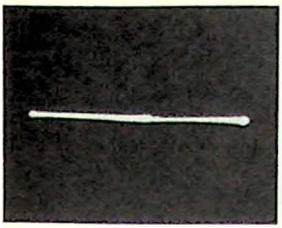


Bild A 25

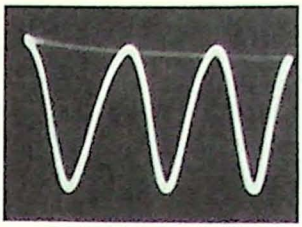


Bild A 26

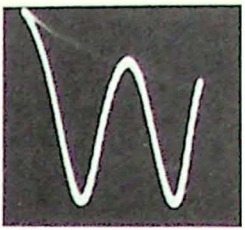


Bild A 27

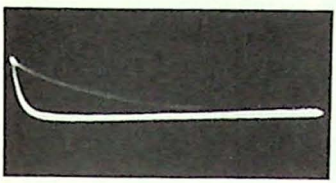


Bild A 28

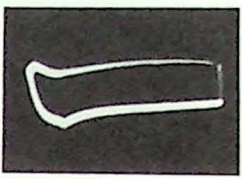


Bild A 29

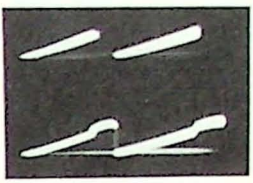


Bild A 30

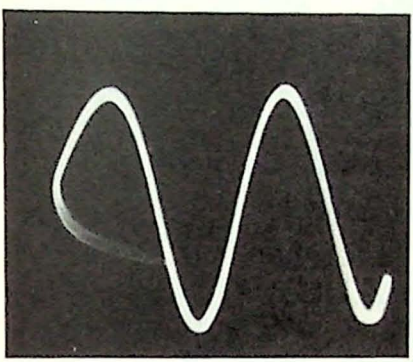


Bild A 31

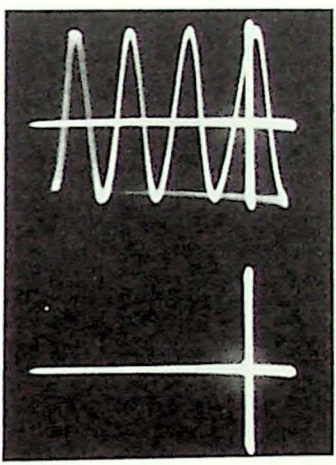


Bild A 32

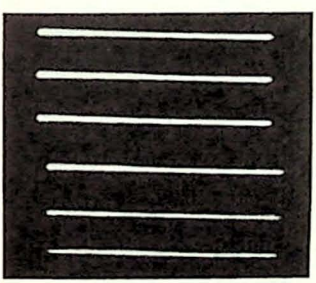
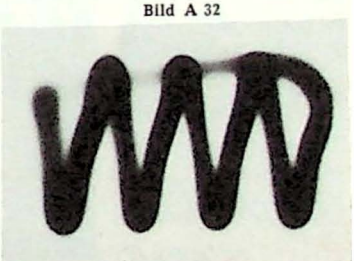


Bild A 33

Bild A 34



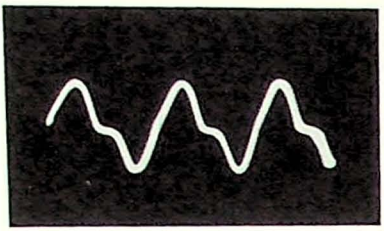


Bild A 35

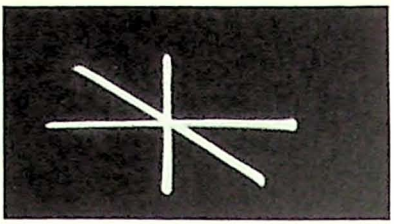


Bild A 36

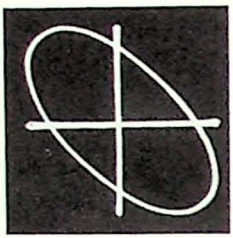


Bild A 37

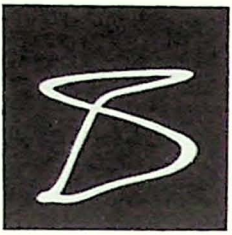


Bild A 38

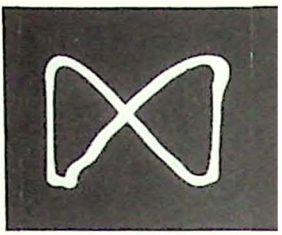


Bild A 39

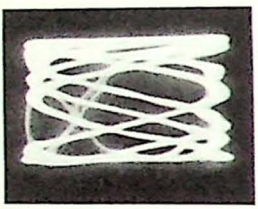


Bild A 40

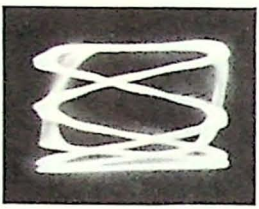


Bild A 41

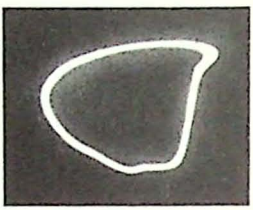


Bild A 42

Bild A 45

Bild A 43

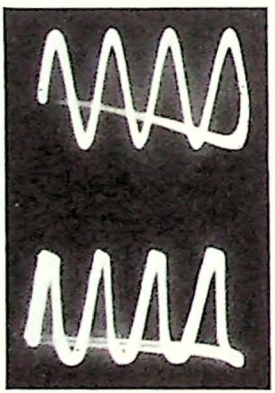
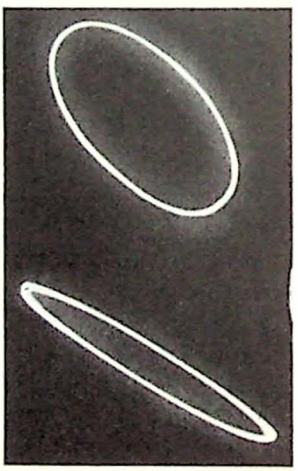


Bild A 44



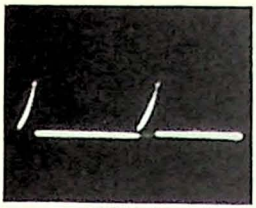


Bild A 46

Bild A 47

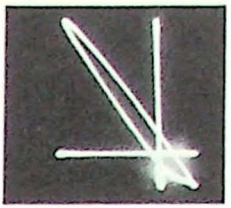


Bild A 48

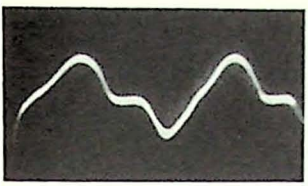


Bild A 49

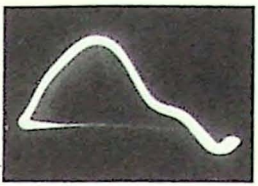


Bild A 50

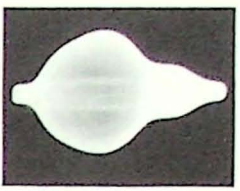


Bild A 51

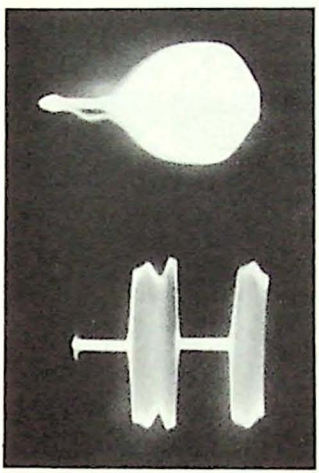


Bild A 52

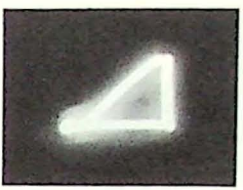


Bild A 53

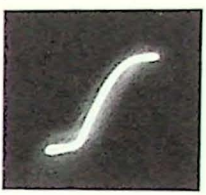


Bild A 55

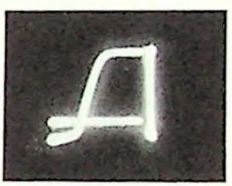


Bild A 54

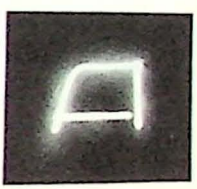


Bild A 56

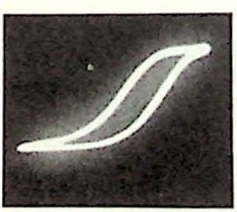


Bild A 57

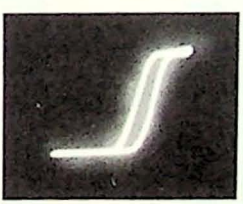


Bild A 58

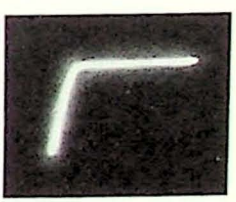


Bild A 59

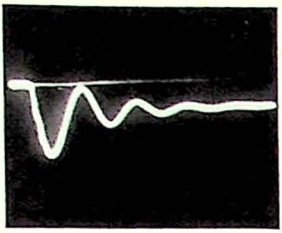


Bild A 60

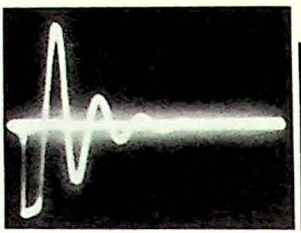


Bild A 61

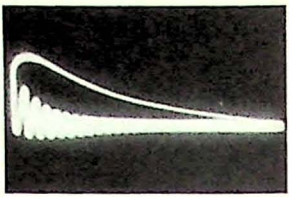


Bild A 62

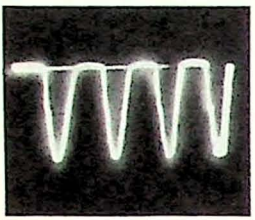


Bild A 63

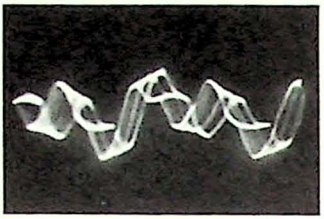


Bild A 64

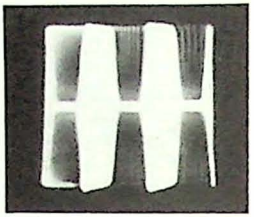


Bild A 65

Bild A 68

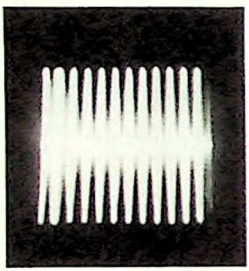


Bild A 66

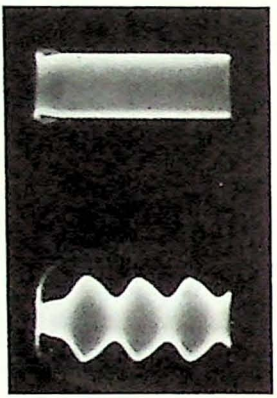
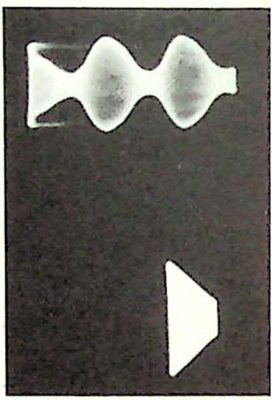


Bild A 67



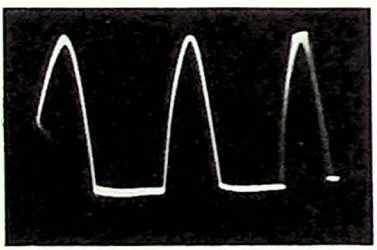


Bild A 69

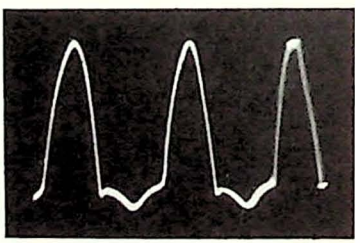


Bild A 70

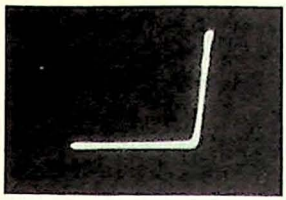


Bild A 71

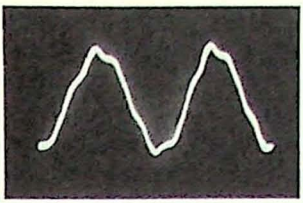


Bild A 72

Bild A 73

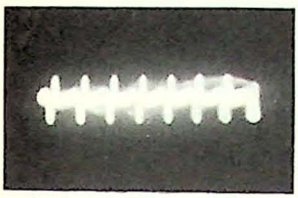


Bild A 74

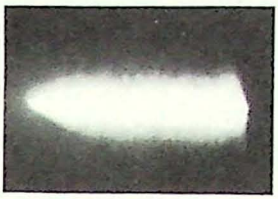


Bild A 75

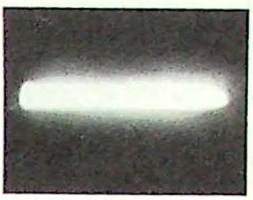


Bild A 76

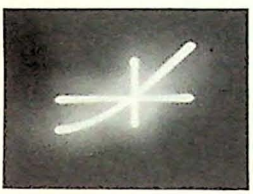


Bild A 77

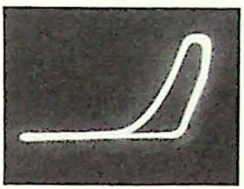


Bild A 78

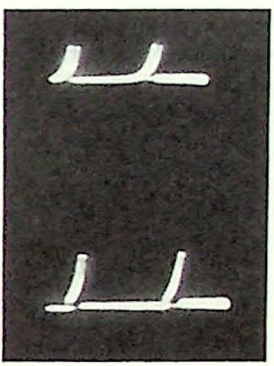


Bild A 79

Erläuterungen

Die vorstehenden Oszillogramme stellen typische Leuchtschirmbilder dar und haben den Zweck, die Ausführungen des Textes zu unterstützen. Die Aufnahmen sind mit Absicht nicht „frisiert", weil der Leser ein möglichst unverfälschtes Bild von Leuchtschirmbildern, wie sie tatsächlich auftreten, erhalten soll.

Die Aufnahmen wurden mit einer 6½×9-Plattenkamera (Anastigmat 1:4,8, F = 10,5) mit doppeltem Auszug auf orthochromatischem Material hergestellt. Als Katodenstrahlröhre diente ein Typ von 7 cm Schirmdurchmesser (grüne

Schirmfarbe), die mit einer Anodenspannung von 800 Volt betrieben wurde. Die Belichtungszeiten lagen zwischen einer und fünf Sekunden.

Bild A 1: Verwaschener Leuchtfleck bei falscher Linsenspannung. Es fehlt jede Strahlkonzentration.

Bild A 2: Einwandfrei konzentrierter Leuchtfleck. Verhältnis zwischen Anodenspannung und Linsenspannung richtig gewählt. Die negative Wehnelt-Zylinderspannung hatte einen solchen Wert, daß sich eine mittlere Helligkeit ergab.

Bild A 3: Horizontale Leuchtlinie bei richtig eingestellten Elektrodenspannungen. Zur Ablenkung wurde eine Kippspannung verwendet, die einen nicht ganz linearen Verlauf hatte. Deshalb erscheint der linke Teil des Striches etwas dicker und heller als der rechte Teil.

Bild A 4: Typisches Kennzeichen einer unsymmetrischen Verzerrung, die sich durch eine Strichverbreiterung symmetrisch zur Mitte äußert.

Bild A 5: Typische Trapezverzerrung. Der Leuchtstrich wird nach links keilförmig breiter.

Bild A 6: Eine Periode einer sinusförmigen Schwingung, oszillografisch einwandfrei dargestellt.

Bild A 7: Verzerrte harmonische Schwingung. Der horizontale Teil verläuft wesentlich langsamer als der Anstieg. Im Oszillogramm kommt das durch die stark unterschiedliche Helligkeit der Kurventeile deutlich zum Ausdruck.

Bild A 8: Exponentiell verlaufende Kippspannung mit extrem kurzer Rücklaufzeit. Der Rücklauf ist im Oszillogramm gerade noch sichtbar.

Bild A 9: Verlauf einer Kippschwingung, deren Frequenz wesentlich höher ist als die Frequenz der Schwingung nach Bild A 8. Das Verhältnis zwischen Hinlauf- und Rücklaufzeit ist wesentlich kleiner. Infolgedessen ist die prozentuale Rücklaufzeit größer, so daß die Rücklauflinie im Oszillogramm deutlich zum Ausdruck kommt.

Bild A 10: Oszillogramm einer sinusförmigen Schwingung bei linearem Anstieg der Kippkurve. Die Abstände zwischen den einzelnen Schwingungsamplituden sind annähernd gleich groß.

Bild A 11: Dasselbe Oszillogramm wie Bild A 10, jedoch mit exponentiell verlaufender Kippspannung aufgenommen. Die Schwingungen erscheinen am Anfang wegen der großen Kippgeschwindigkeit stark zusammengedrängt, während sie später, wenn die Kippgeschwindigkeit kleiner wird, immer weiter auseinandergezogen werden.

Bild A 12: Kippkurve mit annähernd linearem Anstieg und sehr großer Rücklaufzeit.

Bild A 13: Gut synchronisiertes Oszillogramm einer Kippschwingung, Frequenzverhältnis 1:20. Die ablenkende Kippspannung ist absolut linear, was aus dem gleichmäßigen Abstand der einzelnen Kipperioden deutlich hervorgeht.

Bild A 14: Typische Form einer verzerrten unselbständigen Kippschwingung mit prozentual sehr großer Rücklaufzeit. Der Kippkondensator ist schon längere Zeit aufgeladen, wenn der auslösende Entladestoß einsetzt. Im Entladekreis liegt ein relativ großer ohmscher Widerstand, der die Entladung stark verzögert.

Bild A 15: Impulsreihe, die praktisch bis zur Aperiodizität gedämpft ist. Man erkennt noch eine stark gedämpfte Schwingung kurz vor dem Abfall des Impulses. Solche Bilder ergeben sich stets, wenn sehr stark gedämpfte Spulen von einem steil verlaufenden Impuls angestoßen werden.

Bild A 16: Typischer Verlauf einer mit einem Sperrschwinger erzeugten Kippschwingung. Das untere Bild stellt den Verlauf der Spannung am Gitter der Sperrschwingerröhre dar. Man erkennt den exponentiellen Anstieg der Gitterspannung während der Zeit, in der die Röhre nicht arbeitet. Das Einsetzen der Schwingungen ist durch das Auftreten eines starken vertikalen Ausschlags zu erkennen, der den Beginn der gedämpften Schwingung kennzeichnet. Der kurze Schwingungszug ist im unteren Bild stark zusammengedrängt, er entspricht dem Rücklauf der Kippschwingung und ist kurz gegenüber der Dauer des Hinlaufs. Das obere Bild stellt die Spannung an der Anode des Sperrschwingers dar und wurde mit einer sechsmal größeren Ablenkfrequenz gewonnen, so daß die gedämpfte Schwingung stark auseinandergezogen ist.

Bild A 17: Sperrschwingerrücklauf nach Bild A 16, noch stärker gedehnt und teilweise in den Rücklauf verlegt. Die gedämpfte Schwingung ist einwandfrei erkennbar.

Bild A 18: Zwei Leuchtschirmbilder auf einer Einstrahlröhre, erhalten durch Rechteck-Umschaltspannungen. Die obere Figur gehört zu einer kleinen Amplitude der Rechteck-Spannung, während die untere Figur zu einer größeren Rechteck-Amplitude gehört.

Bild A 19: Zeitmarken durch Verwendung einer sinusförmigen Spannung. Die positiven Amplituden der Spannung (unteres Bild) haben bei bekannter Frequenz zeitlich genau bestimmte Abstände und dienen daher als Zeitmarken zum Messen bestimmter, besonders interessierender Abschnitte des zu oszillografierenden Vorgangs, der im oberen Bild dargestellt ist.

Bild A 20: Extrem kurze Impulse als Zeitmarken. Sie sind im unteren Teil des Bildes dargestellt, der obere Teil des Bildes ist der eigentliche Meßvorgang. Bei bekannter Impulsfrequenz entspricht den Abständen zwischen den Impulsamplituden eine genau bekannte Zeit.

Bild A 21: Durch Helligkeitssteuerung der waagerechten Leuchtlinie gebildete Zeitmarken. Die Lichtsteuerspannung hatte annähernd sinusförmigen Verlauf. Der obere Bildteil entspricht dem zu messenden Vorgang.

Bild A 22: Lichtmarken, wie sie durch eine Glimmlampe herbeigeführt werden können. Bei der Marke ganz rechts außen erlosch die Glimmlampe nicht rechtzeitig.

Bild A 23: Leuchtfleckverschiebung, wie sie bei der Messung von Gleichspannungen auftritt. Die Entfernung zwischen den beiden Punkten entspricht der zu messenden Gleichspannung.

Bild A 24: Durch eine parasitäre Wechselspannung auseinandergezogener Leuchtfleck. Von einem Linsenfehler im Oszillogramm dadurch zu unterscheiden, daß sich bei horizontaler Ablenkung eine Wellenlinie ergibt.

Bild A 25: Typisches Bild eines Leuchtstriches, der sich aus zwei überlagerten Wechselspannungen zusammensetzt. Der rechte Teil des Leuchtstriches wird von einer Kippschwingung gebildet, während der linke Teil von einer überlagerten Wechselspannung herrührt.

Bild A 26: Richtig eingestellter Synchronisierzwang bei dem Oszillogramm einer Sinusschwingung. Der Rücklauf ergibt sich zwanglos nach der dritten Periode. Verzerrungen treten nicht auf.

Bild A 27: Dasselbe Oszillogramm wie Bild A 26, jedoch mit viel zu starker Synchronisierung. Die Kippfrequenz ist um etwa zwei Oktaven gesprungen, der Rücklauf beginnt nach einer starken Verzerrung der letzten Halbwelle.

Bild A 28: Typisches Leuchtschirmbild bei kapazitiver Verkopplung der beiden Ablenkplattenpaare. Das vertikale Plattenpaar ist hochohmig und läuft praktisch leer, das horizontale Ablenkplattenpaar liegt an einer Kippspannung. Durch unzulässig große Kapazitäten zwischen den Plattenpaaren wird der Rücklaufimpuls der Kippschwingung auf die Vertikalplatten influenziert.

Bild A 29: Impulsoszillogramm, das praktisch im Rücklauf liegt. Der Impulsanstieg liegt vollständig im Rücklauf und erscheint daher außerordentlich gedehnt.

Bild A 30: Verdunkelung des Rücklaufs einer Kippschwingung durch Helligkeitssteuerung. Im unteren Bild ist die Verdunkelungsspannung nicht eingeschaltet, so daß der Rücklauf sichtbar ist. Im oberen Bild dagegen sind erhebliche Teile des Rücklaufs unsichtbar.

Bild A 31: Vibrierender Rücklauf einer Sinusschwingung, verursacht durch Wechselspannungsreste am Steuergitter der Kippröhre. Derartige Oszillogramme sind meist sehr unstabil und nur für kurze Zeiten auf dem Leuchtschirm zum Stehen zu bringen.

Bild A 32: Markierung der vertikalen und horizontalen Achsen (unteres Bild). Das obere Bild wurde durch drei getrennte Belichtungen (horizontale Achse, vertikale Achse, Schwingung) gewonnen.

Bild A 33: Leuchtstriche mit verschiedenen Belichtungszeiten bei gleichbleibender Intensität des Elektronenstrahls. Belichtungszeiten von unten nach oben: 0,3 Sekunden, 0,8 Sekunden, 1,5 Sekunden, 3 Sekunden, 4 Sekunden, 5 Sekunden. Man erkennt, daß das verwendete Negativmaterial oberhalb einer bestimmten Belichtungszeit nur noch wenig mit entsprechender Schwärzung reagiert, wie es der normalen Gradationskurve entspricht.

Bild A 34: Leuchtschirm-Kontakt-Oszillogramm. Die Aufnahme ist etwas überbelichtet. Man würde jedoch auch bei geringerer Belichtung nur ein undeutliches Bild erzielen, weil die Brechung der Glaswand erheblich stört.

Bild A 35: Durch die zweite Oberwelle verursachte Verzerrung einer Sinusschwingung. Der Klirrfaktor ist größer als 20 %.

Bild A 36: Leuchtschirmbild mit Achsenkreuz, das durch zwei gleichphasige Wechselspannungen verschiedener Amplitude gewonnen wurde. Die horizontale und vertikale Achse wurden jeweils getrennt aufgenommen.

Bild A 37: Leuchtschirmbild wie Bild A 36, jedoch mit Phasenverschiebung zwischen den beiden Ablenkkomponenten. Es ergibt sich eine Ellipse, deren Neigung von dem Spannungsverhältnis der beiden Komponenten abhängt.

Bild A 38: Lissajous-Figur, Frequenzverhältnis 1 : 2, Spannungen nicht sinusförmig.

Bild A 39: Lissajous-Figur wie Bild A 38, andere Phasenlage und anderes Spannungsverhältnis. Frequenzverhältnis 2 : 1.

Bild A 40: Lissajous-Figur, Frequenzverhältnis etwa 1 : 7. Die Spannungen sind nicht sinusförmig.

Bild A 41: Lissajous-Figur wie Bild A 40, jedoch mit anderer Phasenlage. Die einzelnen Kurvenzüge überschneiden sich, ebenso wie in Bild A 43.

Bild A 42: Lissajous-Figur mit stark verzerrten Spannungen, Frequenzverhältnis 1 : 1. Diese Figur würde bei sinusförmigen Spannungen gleicher Amplitude, die um 90° phasenverschoben sind, zu einem Kreis ausarten.

Bild A 43: Lissajous-Figur mit einem Frequenzverhältnis von 1 : 4. Die Phasenlage ist so gewählt, daß sich die Kurvenzüge überdecken.

Bild A 44: Einzelkomponenten der für das Zustandekommen der Lissajous-Figuren nach Bild A 38—43 verantwortlichen Spannung. Während die obere Spannungskurve fast sinusförmig ist, weist die untere Kurve erhebliche Verzerrungen auf.

Bild A 45: Typische Phasen-Ellipsen, wie sie bei Leistungsmessungen auftreten. Zur oberen Ellipse gehört eine kleinere Leistung als zur unteren, obwohl die Stromamplitude größer war. Die obere Ellipse entstand bei der Messung eines stark unterangepaßten Lautsprechers. Die untere Ellipse kam bei richtiger Anpassung zustande.

Bild A 46: Laufzeitverschobene Impulse, wie sie z. B. bei der elektrischen Messung von Entfernungen längs Kabeln oder sonstigen Strecken auftreten.

Bild A 47: Typische Hysteresekurve mit gleichzeitig aufgenommenen Achsen. Der Flächeninhalt der Schleife ist ein Maß für die Eisenverluste.

Bild A 48: Stark verzerrte Hysteresekurve bei unzweckmäßiger Bemessung der Ablenkkomponenten und unrichtiger Stellung des magnetisierten Eisens zum Hals der Katodenstrahlröhre.

Bild A 49: Stark verzerrte Netzspannung, verursacht durch komplexe Belastung eines Umformers.

Bild A 50: Frequenzverlauf an einem Vierpol, niederfrequente Kurve. Das Oszillogramm wurde durch Demodulation einer hochfrequenten Frequenzkurve nach Bild A 51 gewonnen.

Bild A 51: Hochfrequenter Frequenzgang eines Schwingungskreises mit schwach ausgeprägter Koppelfrequenz, verursacht durch einen lose angekoppelten zweiten Schwingungskreis. Aufgenommen mit Hilfe eines gewobbelten Hochfrequenzsenders.

Bild A 52: Verschiedene Resonanzkurvenbilder gedämpfter und gegeneinander verstimmter Schwingungskreise, aufgenommen wie Bild A 51.

Bild A 53: Oszillografisch gewonnene Anodenstrom-Gitterspannungs-Kennlinie mit gleichzeitig aufgenommenen Achsen. Die Kennlinie verläuft fast linear und stellt eigentlich nur einen Ausschnitt aus der Gesamtkennlinie dar, weil das Gitter der betreffenden Röhre nur schwach ausgesteuert wurde.

Bild A 54: Kennlinie wie Bild A 53, jedoch gewonnen mit einer Schirmgitterröhre, deren Anodenspannung klein gegenüber der Schirmgitterspannung ist. Dadurch erhält die Kennlinie im oberen Teil einen scharfen Knick und verläuft rechts davon annähernd horizontal.

Bild A 55: Kennlinie wie Bild A 53, jedoch ohne Achsen und wesentlich stärker ausgesteuert.

Bild A 56: Oszillografisch gewonnene Anodenstrom-Anodenspannungs-Kennlinie einer Pentode. Der für diese Röhre typische horizontale Kennlinienverlauf in weiten Bereichen des Kennlinienfeldes ist deutlich sichtbar.

Bild A 57: Röhrenkennlinie bei komplexer Belastung, jedoch geringer Aussteuerung.

Bild A 58: Kennlinie wie Bild A 57, jedoch wesentlich stärker ausgesteuert. Die komplexe Belastung ist nach wie vor aus der Schleifenbildung erkennbar.

Bild A 59: Ansteigender Ast einer Anodenstrom-Anodenspannungs-Kennlinie (siehe Bild A 56), stark vergrößert oszillografiert.

Bild A 60: Typisches Bild einer stark gedämpften Schwingung, aufgenommen an einem impulsförmig angestoßenen Schwingungskreis relativ niederer Frequenz.

Bild A 61: Im Rücklauf liegende gedämpfte Schwingung bei extrem hoher Dämpfung.

Bild A 62: Gedämpfte Schwingung hoher Frequenz.

Bild A 63: Stark verzerrte Eingangsspannung am Gitter einer zu wenig negativ vorgespannten Endröhre (Aussteuerung weit in das Gitterstromgebiet hinein). Der Innenwiderstand des Steuergenerators war verhältnismäßig groß gegenüber dem dynamischen Widerstand der Strecke Gitter—Katode, so daß die positiven Amplituden der Steuerspannung zusammenbrachen und daher im Oszillogramm abgeplattet erscheinen.

Bild A 64: Oszillogramm einer niederfrequenten Schwingung mit Hochfrequenzresten. Die Hochfrequenz war stark verzerrt. Wäre das nicht der Fall gewesen, so würde sich ein gleichmäßig dichter Hochfrequenzflaum eingestellt haben.

Bild A 65: Stark gedehnte Tröpfelimpulse eines übersteuerten Hochfrequenzsenders. Typisches Bild für intermittierende Selbsterregung.

Bild A 66: Oszillogramm der Anodenspannung eines tröpfelnden Hochfrequenzsenders. Bei durchschwingendem Sender würde sich eine gleichmäßig leuchtende Fläche ergeben.

Bild A 67: Modulation einer Hochfrequenzschwingung. Das obere Bild zeigt das Oszillogramm der unmodulierten Hochfrequenz, das untere Bild die modulierte Hochfrequenz. Die Modulationsspannung war annähernd sinusförmig.

Bild A 68: Modulierte Hochfrequenz (oberes Bild) mit zugehörigem Modulationstrapez (unteres Bild). Das Trapez wurde durch Anlegen der modulierten Hochfrequenz an die Vertikalplatten und der modulierenden Niederfrequenz an die Horizontalplatten gewonnen.

Bild A 69: Spannungskurve am ohmschen Belastungswiderstand eines Halbweg-Gleichrichters. Da es sich um eine Elektronenröhre handelt, tritt keinerlei Rückstrom auf.

Bild A 70: Wie Bild A 69, jedoch bei Verwendung eines Trockengleichrichters (Kupferoxydul). Man erkennt deutlich, daß der Gleichrichter nicht vollständig sperrt, sondern in der Sperrichtung noch etwas Rückstrom hindurchläßt. Die Rückstromkennlinie ist nicht linear.

Bild A 71: Durch Ablenkung mit der Netzfrequenz gewonnene Gleichrichter-Kennlinie einer Elektronenröhre.

Bild A 72: Oszillogramm eines statisch hervorgerufenen Netztones. Es wurde die Ausgangsspannung eines Verstärkers oszillografiert, dessen Eingang in der Nähe eines Wechselspannung führenden Drahtes lag. Demnach ergab sich eine sehr schwache kapazitive Kopplung zwischen der Wechselspannung und dem Empfängereingang.

Bild A 73: Versuch, ein unharmonisches Störgeräusch zu oszillografieren. Das Foto entspricht nicht dem visuellen Eindruck, den das Auge vom Leuchtschirmbild hat. Das rührt daher, daß ein Störgeräusch ein außerordentlich breites Frequenzspektrum aufweist.

Bild A 74: Oszillogramm des in der Nähe des Leipziger Senders liegenden tonfrequent modulierten Senders.

Bild A 75: Typisches Empfängerrauschen bei zu hoher Verstärkung. Im Rauschen ist ein Nutzsignal enthalten, das von den Rauschspannungen vollkommen verdeckt wird.

Bild A 76: Rauschspannung ohne Nutzsignal, kleinere Amplitude.

Bild A 77: Kennlinie eines nichtlinearen Potentiometers einschließlich dem gleichzeitig aufgenommenen Achsenkreuz.

Bild A 78: Typisches Bild einer Glimmlampenhysterese, was sich durch Schleifenbildung der Kennlinie bemerkbar macht. Das Oszillogramm wurde bei Frequenzen aufgenommen, denen die Glimmlampe wegen der Ionenträgheit nicht mehr folgen konnte.

Bild A 79: Einfluß der schädlichen Parallelkapazität, die dem Eingang eines Fotozellenverstärkers parallel liegt. Das untere Bild zeigt den Verlauf der impulsmäßigen Fotozellen-Stromstöße bei geringer kapazitiver Belastung, das obere Oszillogramm gehört zu einer wesentlich größeren kapazitiven Belastung. Die Unschärfe der Impulse rührt daher, daß das Oszillogramm während der Aufnahme infolge ungenügender Synchronisierung nicht ganz ruhig stand.

Sachregister

A

Ablenkanomalien 8
Ablenkempfindlichkeit 14
—, Bestimmung 61
Ablenkfaktor 14
Ablenkfaktorbestimmung 61
Ablenkgeräte, industrielle Schaltungstechnik 154
Ablenkkomponenten 7
Ablenkplatte 9, 11
Ablenkplatten, Anschaltung 15
—, Symmetrie 17
Ablenkplattenpaare 11
Ablenkplattenwiderstand, Einfluß 20
Ablenkschaltung 45
Ablenkung, elektromagnetische 11
—, periodische 28
—, statische 11
Ablenkzylinder 83
Abschirmung gegen Fremdfelder 64
—, magnetische 65
AEG-Röhren 175
Amperewindungszahl 15
Amplitudensieb 53
Anhallzeit, Bestimmung 133
Ankopplungsschaltung 10
Anodenspannung 13
Anstiegszeit eines Rechtecksprunges 137
Astronomie, Anwendungen 150
Aufladewiderstand, spannungsabhängiger 32
Auflösungsgrenze 69
Aufnahme von Röhrenkennlinien 99
Aufzeichnungsmaterial 72
Außenwiderstände (Verstärker) 49

B

Belichtungszeit 72
Beruhigungskondensatoren 23
Blauschriftröhren 193
Blindkomponenten, Bestimmung 87
blocking-oscillator 42
Braunsche Röhre 7
Breitbandstufe 50
Brennspannung 30
Brückenschaltungen 91
Brummspannungskurven, Aufnahme von 115
Bündelung 10

D

Dehnungs-Meßstreifen 58
Dekadenumschaltung 57
Dekrement, Bestimmung 103
Demodulator, Untersuchung des dynamischen Verhaltens 107
Demodulatoren, Untersuchung 106
Demodulatorkurve, Aufzeichnung 106
Dezimetertechnik 143
Differentiation 41
Differenzverstärker 163
Diskriminatorprüfungen 125
Drehkondensatorkurven, Aufnahme 120
Drehstromnetz-Kontrolle 92
Druckgeber 58
Druckwandler 57
Durchschlagsprüfung 90
Dynatronschaltung 45

E

Effektivwertmessung 81
Eingangsimpedanz, Bestimmung 62
Eingangskapazität 62
Eingangs-Spannungsteiler 160
Eingangswiderstand 62
Einschwingkurven, Aufnahme 109
Elektronenlinse 10
Elektronenröhre als steuerbare Reaktanz 94
Elektronenröhrenschalter 54
Elektronenstrahlschalter 54
—, Wirkungsweise 55
Empfindlichkeit 14
Endstufen, Leistungsbestimmung 105
Energiewandler 57
Entfernungsmeßverfahren 147
Entriegelungszeit 41
Exponentialkurve 31

F

Fehler, elektronenoptischer 64
Fehlerortsbestimmung 89
Feldstärkeschwankung, Registrierung 117
Fernseh-GmbH.-Röhren 184
Fernseh-Oszillografen 153
—, Eigenschaften 136
—, Kippgerät 138
Filteruntersuchung 103
Fixieren, fotografisches 71
Fleckhelligkeit 10
Fleckverschiebung 23, 91
Flip-Flop-Schaltung 140
Fluoreszenzfleck 8
Fluoreszenzlicht, Farbe 12
Fotografieren von Oszillogrammen 71
Fotozellen 57
Fotozellenuntersuchung 122
Fourier-Analysator 81
Fremdfelder, Beseitigung von 64
Frequenzanalysator 130
Frequenzganguntersuchung 105
Frequenzhub, Bestimmung 124
Frequenzkurven, Aufnahme 93
—, Hochfrequenzgebiet 94
—, Niederfrequenzgebiet 92
Frequenzmessungen 82
Frequenzmodulation, Prüfung 125
—, Untersuchung von Geräten 124
Frequenzwobbelung 96
Funkenlöschung 117

G

Gasfüllung 8
Gastriode 35, 194
Gegentaktverstärker 155
— zur Symmetrierung 18
Geologie, Anwendungen 150
Germaniumgleichrichter 63
Geschwindigkeitsmessungen 148
Gitterspannungsmaßstab 99
Gleichrichter, Untersuchung 113
Gleichrichterkennlinie, Aufnahme 107
Gleichrichterprüfung 114
Gleichspannungen. Kompensation 80
Gleichspannungskompensierung 19
Gleichspannungsmessungen 79
Gleichspannungsregistrierung 20
Gleichspannungsverriegelung 68
Glimmlampe als Zeitmarkengeber 60
Glimmlampenkennlinie, Aufnahme 121
Glimmlampen-Kippschaltung 30
Glimmlampenprüfungen 121
Grundfrequenz, obere 50
—, untere 50
Grundspannung 37
Gundelach-Röhren 180

H

Heizdaten 12
Heizfaden 8
Helligkeitseinstellung 63
Helligkeitssteuerung 164
— mit Zeitmarken 59
Herzaktionskurven, Niederschrift 149
Heulfrequenzerzeugung 98
Heultongenerator 129
Hilfssender 25
Hinlaufkurven, lineare 46
Hinlaufzeit 29
Hirnaktionskurven, Niederschrift 149
Höchstfrequenzoszillografen 69
Höchstfrequenz,
Oszillografieren von 68
Hochfrequenzreste, Feststellung 107
Hochspannungs-Netzgleichrichter 24
Hochvakuumröhren 8, 10
Horizontalablenkung 27
Hüllkurve, Darstellung 107
Hüllkurvenuntersuchung 120
Hysteresekurve 89

I

Impedanzmessungen 86
Implosionsgefahr 21
Impulsoszillografen 153
Impulsspitzenspannungsmessung 142
Impulsverfahren 146
Impulsverstärker 162
Induktivität, steuerbare 95
Interferenzpfeifen 41
Ionenröhren 8
Ionenträgheit 31
Isolation 25

K

Kadmiumwolframat 12
Kaltkatodenröhren 8
Kalziumwolframat 12
Kamera-Verschlußzeitmessungen 145
Kapazität, steuerbare 95
Katodenkondensator 50
Katodenstrahlröhre 7
Katodenwiderstand 50
Kippamplitude 30
Kippfrequenz 30
—, Bestimmung 62
—, freie 36
Kippgerät 7
—, fremdgesteuertes 140
— mit Impulssteuerung 41
—, selbständiges 39
—, unselbständiges 39
Kippkapazität 31
Kippkondensator 35
Kippkurve und Zeitkonstante 40
Kippröhren 194
—, gesteuerte 39
Kippschaltungen mit Thyratronröhren 37
— mit wechselseitiger Steuerung 44
Kippschwingungen, raumakustische 132
Kippspannung 27
—, erforderliche Werte 29
—, Linearisierung 32
—, modulierte 36
Kippspannungsverlauf 28
Kippspannungsverstärker 34, 155
Klanganalyse, oszillografische 129
Klirrfaktorbestimmungen 129
Kollisionsprophylaxe 148
Kompensationsschaltungen 52
Kondensatorverluste, Bestimmung 86
Kontaktoszillogramm 116
Kontaktperiode 116
Koordinatenachsen, Mitfixierung 72
Koordinaten, Sichtbarmachung 71
Kopfhöreruntersuchungen 128
Kopieren, grafisches 70
Koppelkondensator, Einfluß 50
Kurzzeitbestimmungen 145

L

Ladestrom 37
Laufwerkuntersuchungen 135
Laufzeitkabel 142
Laufzeitkette 141, 142
Laufzeitmessung 104
Lautsprecheruntersuchungen 128
Leistungsbestimmungen 83
Leitungen, Untersuchung 87
Leuchtfleck 8
—, richtig eingestellter 63
Leuchtschirm 8, 12
Leuchtschirmbilder bei verschiedenen Frequenzverhältnissen 77
— bei Phasenverschiebung 76
—, Deutung 74
Leuchtschirm-Kontaktfotografie 73
Leuchtschirmwirkungsgrad 12
Leybold-Röhren 181
Lichtwandler 57
Linearisierung 32
— durch Gegenkopplung 34, 35
— mit Pentode 33
— durch Sättigungsdiode 32
— durch Verstärker 33
Linienspektrum 130
Linsenspannung 13
Lissajousfiguren 74
Literatur 227
Löschspannung 30
Loewe-Röhren 176, 178

M

Magnetisierungskurven, Aufnahme 88, 89
Magnettontechnik, Anwendung des Oszillografen 134
Maximalverstärkung 50
Mehrstrahlröhren 154
Meßköpfe 63
Meßleitung 143
Meßplatten 27
Meßplattenverstärker 137
Meßsender, Eichung und Untersuchung 113
Meßspannung, Ankopplung der 16
—, Überlagerung durch Störspannungen 65
—, Verlauf der 47
Meßverstärker 159
—, Übersteuerung 67
Meteorologie, Anwendungen 150
Mikrofon-Charakteristik, Darstellung 127
Mikrofonuntersuchungen 127
Miller-Effekt 200
Miller-Integrator 198
Miller-Kapazität 198
Miller-Transitron 46, 200
Mitnahme 41
Modulationsarten, Sichtbarmachung mehrerer 126
Modulationsgradbestimmung 107
Modulationsgradmessung 109
Modulationstrapez 110
Multivibrator 43
—, gleichstromgekoppelter 140
—, katodengekoppelter 157

N

Nacheichung 164
Nachhalluntersuchungen 131
Nachhallzeit, Bestimmung 133
Nachleuchtzeit 12
Navigation, Anwendungen 147
Negadyneschaltung 45
Negativmaterial 72
Netzanschlußschaltung 23
Netzfrequenz als Zeitvergleich 112
Netzgeräte, Untersuchung 113
Netzgeräusche, Untersuchung 114
Netzmodulation 37

Netzsynchronisierung, Störungen 221
Netzteilsiebung 197
Niederfrequenz-Oszillografen 152
Nullpunkt 68
Nullpunktfehler 16

O

Oberwellengehalt, Prüfung 92
Oszillator-Netzgerät 25
Oszillatortröpfeln, Feststellung 108
Oszillograf 7
Oszillografen,
handelsübliche 167—174
Oszillografenröhre 7
—, Bezeichnungsschlüssel 192
—, Farbe des Schirmes 153
—, kommerzielle 184
—, Vergleichsübersicht 192
Oszillografen-Röhrenvoltmeter 91
Oszillografen-Typen 151
Oszillografenverstärker 47
Oszillogramm 1
—, Auswertung 73
—, physikalisches Zustandekommen 78
Oszillogrammatlas 231—246
Oszillogrammverschiebung 20
Oszillogrammverzerrung 16
Oszilloskop 7

P

Phantastron 46
Phasenellipse 84, 95
Phasengang 48
—, Berechnung 51
Phasenmessungen 85
Phasenschieber 139
— zur Rücklaufauswertung 66
—, Wirkungsweise 218
Phasenumkehrschaltungen 18
Phasenverschiebung, Messung 82
— im Oszillogramm 82
Phasenwinkelbestimmung 104
Philips-Valvo-Röhren 182, 183
Polarkoordinaten 83
Polarkoordinaten-Oszillograf 82
Potentiometeruntersuchung 119
Prüffeldverfahren 146
Pulsierende Spannung,
Darstellung 114

R

Reaktanzröhre, Wirkungsweise 95
Rechteckgeneratoren 56
Rechteckimpulse 38
Rechtecksprung und Bandbreite 137
Regelröhren 166
Regeltransformator 90
Registriergerät 132
Resonanzentzerrung 52
Resonanzkurven, Sichtbarmachung 96
Resonanztransformator 26
Röhrenkennlinienaufnahme 98
Rücklauf, Auswertung 66
Rücklaufimpulse, Abschirmung 196
Rücklaufzeit 29, 31
Rückstrahlbild 148

S

Sättigungsstromlieferant 45
Sanatron 46
S/C-Verhältnis 50
Schallwandler 57
Scheitelwertmessung 81
Schirmhelligkeit 72
Schreibgeschwindigkeit,
Bestimmung 62
—, maximale 14
Schwingkreise, Untersuchung 101
Schwingungen, Darstellung
gedämpfter 102

Schwingungswandler 58
Schwundregelspannungen, Untersuchung 110
Schwundregler, Zeitkonstantenbestimmung 111
Selbstbau-Elektronenstrahlschalter 212
—, Oszillogramme 216
—, Wirkungsweise 214
Selbstbaugeräte, Richtlinien 195
Selbstbau-Oszillograf 198—211
—, Bedienung 208
—, Dunkeltastung 204
—, Impulsspannungsmessung 206
—, Meßimpuls 205
—, Meßverstärker 204
—, Netzteil 207
—, periodischer Betrieb 201
—, Triggerbetrieb 202
—, Zeiteichung 206
Selbstbaugerät-Oszillogramme 211
Siebkette 26
Siebkettenuntersuchung 103
Siemens-Röhren 177, 179
Signalverzögerung 141
Spannungsabschneidung 33
Spannungsamplitude 29
Spannungsregelung, elektronische 165
Spannungsteiler 56
—, induktive 57
—, Kompensation 57, 161
—, Ohmsche 57
Spannungsteilerkurven, Aufnahme 119
Spannungsteilerverhältnis 56
Spannungsteilung, frequenzunabhängige 56
Spannungsverdopplerschaltung 22
Spannungsvervielfacherschaltung 24
Spektrometer 131
Sperrschwinger 42
—, Sonderschaltung 43
Spiegelreflexkamera 71
Sprache, Darstellung 134
Spulenverluste 87
Störfelder, Abschirmung 26
Störgeräusche, Untersuchung 117
Störgeräuschanalyse 135
Störkomponenten 63
Stoßstellenermittlung 88
Strahlablenkung 27
Strahldichte 28
Strahlgeschwindigkeit 29
—, Einfluß auf Helligkeit 28
Strahlintensität 9
Strahlkonzentration 9
Strahlschärfe 10
Streufelder 196
Streufelderermittlung 123
Strichlage 82
Striktion 8
Stroboskopie 121
Stroboskopröhren 123
Stroboskopverfahren 148
Strommessung 83
Stromtor 35
Stromversorgung 165
Symmetrierung 17
Synchronisiergüte 157
Synchronisierimpulse, konstante 53
Synchronisierspannung 36
—, mitgezogene 47
Synchronisierspannungsverstärker 158
Synchronisierung 29
— mit zusätzlicher Beeinflussung der Laderöhre 46
—, Einstellung 65
—, extern 159
—, intern 159
—, stabile 47

Synchronisier-Wahlschalter 159
Synchronisier-Zusatzschaltungen 53
Synchronisierzwang 36
Synchronisierzwang, Wert 65
Synchronismus ohne Störung 67

T

Tastköpfe 164
Tastleitung 106
Telefunken-Röhren 186—189
Teslatransformator 26
Thyratron, Kennlinie 36
—, Frequenzgrenze 37
— Kippgerät 35
—, Synchronisierung 36
Thyratronröhren 35
—, Untersuchung 122
Tonabnehmeruntersuchungen 128
Tonfilmtechnik, Anwendungen 145
Tonfrequenzspektrometer 131
Tongeneratoren, Eichung 112
—, Untersuchung 111
Trägerfrequenzverstärker 48
Transformatoruntersuchung 103
Transistorkennlinien, Aufnahme 98
Transitron-Generator 198
—, Stromübernahme 200
Trennkondensatoren 68
Triggerbetrieb 40
Triggern 140
Triggerschaltungen 142, 158

U

Überschwingen 108, 137
Uhrenkontrolle 149
Universal-Oszillografen 152
Unterricht, Anwendungen 150

V

Valvo-Katodenstrahlröhren 185, 190—191
Verbindungsleitungen 68
Verriegelungskondensatoren 68
Verstärker, Phasengang 47
Verstärkerprüfung 104
Verstärkerschaltungen 49
Verstärkerstufe, Bandbreite einer 49
Verstärkung, amplitudenunabhängige 48
Verstärkungsgrad 47
Vertikalablenkung 27
Verzögerungsglieder 158
Verzögerungs-Multivibratoren 158
Vorgänge, einmalige 54

W

Wanderwellenuntersuchung 92
Wartezeit 141
Wechselrichter, Untersuchung 116
Wechselspannungs-untersuchungen 81
Wechselstrom-Netzanschlußgerät 22
Wehneltzylinder 8
Wehneltzylinderspannung 8, 13, 24
Widerstands-Meßschaltung 90
Widerstandsverstärker 48
Wobbeleinrichtung 97
Wobbelgradbestimmung bei Tonbandgeräten 135
Wobbelgradmesser 135
Wobbelung 96

Y

y-Verstärker 137

Z

Zeitablenkgerät 7, 27
Zeitauflösung 7
Zeitbasis-Mikroskop 54, 142
Zeitdehnung 54, 139

Zeitdehnung, Schaltungen 142
Zeitdifferenzen, Bestimmung 145
Zeitmarke 58
Zeitmarkengeber, Frequenz 59
—, Schaltung 59
Zeitmarkengeräte 58
Zeitmarkierung durch Helligkeitssteuerung 59
Zeitplatten 27
Zeitproportionalität 58
Zentimetertechnik 143
Zinksulfid 12
Zündspannung 30
Zuggeber 58
Zweistrahlröhre für Feldstärkeregistrierung 118

TEKTRONIX

OSZILLOGRAFEN

DREI grundsätzliche Ausführungsformen

- Leicht transportable OSZILLOGRAFEN hoher technischer Leistung bei beschränktem Aufwand.
- HOCHLEISTUNGS-OSZILLOGRAFEN mit austauschbaren Vorverstärker-Einschüben: Breitband-Einschübe, Zweistrahl-Einschübe, Höchstempfindliche NF-Einschübe, Differenzverstärker-Einschübe.
- OSZILLOGRAFEN-BAUEINHEITEN zum Gestelleinbau für Betriebseinsatz.

Allein-Vertrieb

ROHDE & SCHWARZ VERTRIEBS-GMBH

BERLIN W 30, HANNOVER, KARLSRUHE, KÖLN, MÜNCHEN

57/7

Universal-Wobbler
DM 598.-

Wobbelsender 5-115 MHz, gekoppelt mit Markengeber, auf allen Bereichen lückenlos durchstimmbar

Universal-Oszillograf
DM 895.-

Großes Bildrohr mit Planschirm, 3 MHz Bandbreite, Zeitdehnung, Eichspannung

Fernseh-Signal-Generator
DM 785.-

Bildmuster-Generator mit 5 umschaltbaren Bildmustern und Trägergenerator für sämtliche Fernseh-Kanäle nach CCIR Norm
auch getrennt lieferbar

NORDMENDE

MESSGERÄTE FÜR DEN FERNSEH-KUNDENDIENST

P E K

ELEKTRONENSTRAHL-SICHTGERÄTE

DR.-ING. PAUL E. KLEIN, TETTNANG (BODENSEE)

Aus unserem Fertigungsprogramm:

Elektronenstrahl-Oszillografen für 1...8 Vorgänge
mit Gleichspannungsverstärkern für Nieder- und Hochfrequenz
mit modernen Planschirmröhren, 70 und 130 mm Schirmdurchmesser
zur Messung elektrischer und nichtelektrischer Größen

Elektronische Umschalter für Beobachtung und Registrierung bis zu 100 Vorgängen

Registriereinrichtungen mit Elektronenstrahl-Röhren

MESSTECHNIK UND AUTOMATISIERUNG

FRANZIS-FACHBÜCHER

Der Fernseh-Empfänger

Schaltungstechnik, Funktion und Service
2. Auflage
Von Dr. RUDOLF GOLDAMMER
184 Seiten mit 275 Bildern und 5 Tabellen
Preis in Ganzleinen 14 DM

Röhrenmeßtechnik

Brauchbarkeits- u. Fehlerbestimmung an Radioröhren
Von HELMUT SCHWEITZER
192 Seiten mit 118 Bildern und vielen Tabellen
Preis kart. 12 DM, in Halbleinen 13.80 DM

Funktechnik ohne Ballast

Einführung in die Schaltungstechnik der Rundfunk- und UKW-Empfänger. **3. und 4. Auflage**
Von Ingenieur OTTO LIMANN
208 Seiten mit 393 Bildern und 7 Tabellen
Preis in Ganzleinen 14.80 DM

Fernsehtechnik ohne Ballast

Einführung in die Schaltungstechnik der Fernsehempfänger
Von Ingenieur OTTO LIMANN
220 Seiten mit 252 Bildern
Preis in Ganzleinen 14.80 DM

Leitfaden der Radio-Reparatur

Von Dr. ADOLF RENARDY
Rundfunkmechanikermeister
288 Seiten mit 147 Bildern und 14 Tabellen
Preis in Ganzleinen 17 DM

Die Röhre im UKW-Empfänger

Von Dipl.-Ing. A. NOWAK,
Dr. R. CANTZ, Dr. W. ENGBERT u. a.
3 Bände. Je ca. 128 Seiten mit vielen Bildern
Preis kart. je 4.80 DM (Band I vergriffen)

Röhren-Handbuch

2. Auflage
Von Ingenieur LUDWIG RATHEISER
320 Seiten Großformat mit rund 2600 Bildern, davon 820 Textbildern, 1500 Sockelschaltungen und 360 Röhrentafeln, sowie 21 Tabellen
Preis in Lumbeck-Bindung 26.80 DM

Elektronische Speisegeräte

Von Dr. KARL STEIMEL
246 Seiten mit 116 Bildern
Preis in Ganzleinen 16.80 DM

Dauermagnettechnik

Von Ingenieur GERHARD HENNIG
132 Seiten mit 121 Bildern und 16 Zahlentafeln
Preis kart. 12.60 DM, Halbleinen 13.80 DM

Verlangen Sie unseren Verlags-Katalog!

FRANZIS-VERLAG · MÜNCHEN

VFM